13-я МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

6–8 октября 2020 г.
ГНЦ РФ АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»
Санкт-Петербург

МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ ПЯТЬ КОНФЕРЕНЦИЙ, ОБЪЕДИНЕННЫХ ОДНОЙ ИДЕЕЙ:

- XXXII КОНФЕРЕНЦИЯ ПАМЯТИ ВЫДАЮЩЕГОСЯ КОНСТРУКТОРА ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ Н.Н.ОСТРЯКОВА
- «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2020)
- «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ» (МТУИП-2020)
- «УПРАВЛЕНИЕ В АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ» (УАКС-2020) ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е.А.МИКРИНА
- «УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ» (УМС-2020)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2020)

7–8 ОКТЯБРЯ

Санкт-Петербург
2020

УДК 681.51

Материалы конференция «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2020). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2020. 309 с.

В настоящий сборник вошли тексты докладов, состоявшихся на конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2020).

Тексты публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-91995-075-2

© Государственный научный центр Российской Федерации
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2020

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГРУППА РОССИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ
- ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАН
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ» ИМЕНИ В.И.УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
- УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
- ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ РАН
- ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А.ТРАПЕЗНИКОВА РАН
- ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВМФ «ВОЕННО-МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ АДМИРАЛА ФЛОТА СОВЕТСКОГО СОЮЗА Н.Г.КУЗНЕЦОВА»
- ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ («ГОСНИИАС»)
- РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ «ЭНЕРГИЯ» ИМЕНИ С.П.КОРОЛЁВА
- АО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

- ОТДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ, МЕХАНИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ РАН
- МЕЖДУНАРОДНОЙ ОБЩЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ «АКАДЕМИЯ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ»
- РОССИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ
- ЖУРНАЛА «ГИРОСКОПИЯ И НАВИГАЦИЯ»
- ЖУРНАЛА «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ»

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРЕЗИДИУМА

13-Й МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИИ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ
ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»
АКАДЕМИК РАН **В.Г.ПЕШЕХОНОВ**

XXXII КОНФЕРЕНЦИЯ ПАМЯТИ Н.Н.ОСТРЯКОВА

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА
АКАДЕМИК РАН **В.Г. ПЕШЕХОНОВ**

ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **О.А. СТЕПАНОВ**
К.Т.Н. **А.В. СОКОЛОВ**

КОНФЕРЕНЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ» (МТУиП-2020)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **Д.А. НОВИКОВ**
Д.Ф.-М.Н., ПРОФ. **Н.В. КУЗНЕЦОВ**

КОНФЕРЕНЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2020)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **В.Н. ВАСИЛЬЕВ**
Д.Т.Н., ПРОФ. **В.Н. ШЕЛУДЬКО**
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **Р.М. ЮСУПОВ**

КОНФЕРЕНЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ В АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ» (УАКС–2020)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
АКАДЕМИК РАН **С.Ю. ЖЕЛТОВ**
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **В.А. СОЛОВЬЕВ**
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **М.В. СИЛЬНИКОВ**

КОНФЕРЕНЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ» (УМС-2020)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
АКАДЕМИК РАН **Е.И. ЯКУШЕНКО**
АКАДЕМИК РАН **С.Н. ВАСИЛЬЕВ**
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **А.Ф. ЩЕРБАТЮК**

СОДЕРЖАНИЕ

КОНФЕРЕНЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2020)

Секция 1
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В УПРАВЛЕНИИ

В.Н. Козлов, А.А. Ефремов
Проекционно-операторная оптимизация управлений динамическими объектами ... 10

Д.Г. Арсеньев, Д.Е. Баскаков, В.П. Шкодырев
Интеллектуальные графовые модели обработки связанных данных ... 12

С.В. Микони, Д.П. Бураков
Многомерное оценивание объектов методом отклонения от цели ... 18

В.И. Городецкий, М.Г. Пантелеев
Сети автономных агентов реального времени в среде с противодействием: особенности и компоненты модели ... 22

И.С. Никифоров
Элементы методологии создания цифровой платформы управления человеческим капиталом ... 32

В.М. Гриняк, Ю.С. Иваненко, А.В. Шуленина
Планирование маршрутов судов на основе кластеризации траекторий ... 38

М.М. Фозилов, Т.Б. Чистякова, А.Н. Полосин
Система поддержки принятия решений для ресурсосберегающего управления экструдерами в многоассортиментных производствах полимерных пленок ... 42

А.С. Ахмед, А.И. Водяхо, Н.А. Жукова, М.А. Червонцев
Типовые задачи сбора данных в гетерогенных распределенных информационно-ориентированных системах и возможные варианты их решения с использованием модельного подхода ... 46

Ле Хонг Куанг, В.В. Путов, В.Н. Шелудько
Робастное управление многостепенным механическим объектом с адаптивной компенсацией возмущения ... 50

Ле Хонг Куанг, В.В. Путов, В.Н. Шелудько
Адаптивное управление жестким многостепенным нелинейным механическим объектом ... 55

П.О. Скобелев, **В.А. Галузин**, **А.В. Галицкая, В.С. Травин**
Разработка подхода к реализации и архитектуре интеллектуальной системы управления группировками малых космических аппаратов в реальном времени ... 59

П.О. Скобелев, **Д.Е. Новичков, С.П. Грачев**
Архитектура интеллектуальных систем управления текстильным производством на основе баз знаний и мультиагентных технологий ... 63

Т.М. Косовская
Выделение изоморфных подформул как средство для создания логической онтологии ... 67

И.А. Приходько, В.Б. Второв, Г.В. Бельский, Е.А. Васильев
Исследование динамической системы Лоренца ... 70

А.В. Спесивцев, **И.Т. Кимяев**
Многокритериальный логико-лингвистический алгоритм системы управления печью пиролиза ... 73

К. Артемов, С.А. Колюбин
Управление коллаборативными роботами в динамическом окружении по данным системы технического зрения ... 76

А.В. Григорьев, Ю.В. Сентябрев, С.М. Малышев, **Р.Р. Зайнуллин**
Задачи автоматического управления в автономных электростанциях на базе вентильных генераторных агрегатов и вентильных статических источников электроэнергии ... 80

Е.В. Юркевич, Л.Н. Крюкова
Проектирование моделей – новый механизм в построении социокиберфизических систем ... 84

Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова, Н.О. Никулина, В.И. Баталова
Информационно-аналитическая поддержка принятия коллективных решений с использованием интеллектуальных технологий 88

В.А. Хакулов, В.А. Шаповалов, М.В. Игнатов, Ж.В. Карпова
Совершенствование информационных технологий управления процессами горных работ 92

В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Н.О. Никулина, О.Я. Бежаева
Информационная поддержка формирования параметров программных проектов 95

О.В. Жвалевский
Анализ структурного сходства парных тензотреморограмм с применением функций расстояния между временными рядами 99

Э.И. Цветков, Е.С. Сулоева
Метрическая идентификация распределения плотности вероятности случайной величины 102

А.С. Митькин, В.А. Погорелов, **Е.Г. Чуб**
Использование метода моментов для решения задачи оценивания многомерных марковских процессов 105

Н.А. Жукова, **Аунг Мьо То**
Модель управления сбором данных в системе интернета вещей на основе методов анализа социальных сетей 109

Секция 2
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В АСУ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Т.Л. Качанова, Б.Ф. Фомин, О.Б. Фомин
Внутрисистемные взаимодействия в открытых системах 113

В.А. Богатырев, **А.В. Богатырев, С.В. Богатырев**
Резервированное многопутевое обслуживание неоднородного по критичности задержек потока с заданием путей последовательного прохождения узлов для реплик запросов 118

О.В. Кофнов, Б.В. Соколов, В.А. Ушаков
Многовариатное прогнозирование состояния сложных технических объектов при проактивном управлении ими 122

Н.В. Ермаков, С.А. Молодяков
Модель кэширования для системы быстрого доступа файлов 125

Я.А. Ивакин, С.Н. Потапычев
Проверка гипотез ретроспективных исследований на базе геохронологического трекинга и ее оптимизация 129

В.В. Цехановский, В.Д. Чертовской
Оптимальная модель многоуровневой системы управления производством 132

Л.М. Лукьянова, Н.Ю. Лукьянова, **Л.Н. Федорченко**
Методическая основа объективизации логической составляющей системного анализа в производственной сфере 135

Е.К. Грудяева, С.Б. Душин
Моделирование управляемых процессов биологической очистки в реакторе с технологической структурой Кейптаунского университета 139

Б.Я. Советов, Т.М. Татарникова, В.В. Цехановский
Авторегрессионные модели прогнозирования сетевого трафика 143

А.В. Спесивцев, **И.Т. Кимяев**, **Н.Г. Домшенко**
Управление сложным технологическим процессом на основе нечетко-возможностной модели 146

В.А. Беззубов, А.А. Бобцов
Идентификации частоты неизмеряемого синусоидального возмущения с нестационарной амплитудой 148

В.И. Меденников, **А.Н. Райков**
Цифровая трансформация управления в логистике на основе математической модели 151

В.А. Акулов, В.Л. Балакин, **П.П. Долгов**
Концепция параметрической модернизации длиннорадиусной центрифуги под задачи освоения дальнего космоса 154

Е.А. Гребенюк
Выявление значимых факторов повышения эффективности организаций на основе построения границы производственных возможностей 157

Ю.А. Капитонов, В.А. Бородавкин
Планирование разнообразных форм маршрутов перевозок в автомобильной региональной транспортной сети 160

А.Ф. Задорожный, В.А. Мелентьев
О совместимости топологий параллельных задач и систем 162

Секция 3
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ,
BIG DATA И НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

А.П. Антонов, В.С. Заборовский, В.А. Полянский
Нейровычисления в задачах управления: аспекты вычислимости и пространственно-временной характеризации когнитивных функций 165

Д.И. Милосердов, И.В. Милосердов
Разработка механизмов обеспечения устойчивости в нейросетевых системах прогнозирования 169

Б.М. Новиков, Д.М. Киварин, М.Г. Пантелеев
Распознавание действий агентов в виртуальном футболе 173

С.В. Власенко
Функциональные характеристики виртуальных машин семантических запросов в среде платформ цифровых производств и «Интернета вещей» 177

Д.И. Конарев, А.А. Гуламов
Повышение точности предварительно обученных нейронных сетей путём тонкой настройки 180

В.А. Соболевский
Программный комплекс автоматизированной генерации сервисов на базе искусственных нейронных сетей 184

В.С. Быкова, Л.А. Мартынова, А.И. Машошин, И.В. Пашкевич
Алгоритмы функционирования мультиагентной системы управления автономным необитаемым подводным аппаратом 187

А.Ю. Дорогов
Стратифицированные модели самоподобных модульных нейронных сетей 192

Р.Р. Галин
Умное производство. Взаимодействие человека и робота 196

П.А. Коновалов, А.И. Волошина, А.О. Калитин, А.Л. Фрадков, Д.М. Королев
Команда роботов-футболистов UROBORUS-2020 для соревнований ROBOCUP SSL 199

П.А. Коновалов
Алгоритм поиска оптимального решения в сложной динамичной среде для команды роботов-футболистов 202

С.А. Плотников, Д.М. Семенов, М. Липкович, А.Л. Фрадков
Программно-аппаратный комплекс для исследования систем гибридного интеллекта на основе нейрообратной связи 205

С.П. Левашкин, О.И. Захарова, С.В. Кулешов, А.А. Зайцева
Адаптивно-поведенческая модель распространения коронавирусной эпидемии и ее оптимизация методами искусственного интеллекта 208

Р.Е. Спиридонов
Restricted Move – язык описания смарт-контрактов для создания и управления финансовыми активами на основе блокчейн-платформы Dfinance 211

Секция 4
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Л.М. Яковис
Адаптивная идентификация объектов управления в системах с типовыми регуляторами 213

И.В. Бычков, Г.М. Ружников, Р.К. Фёдоров, А.К. Попова
Цифровая платформа мониторинга лесных ресурсов Байкальской природной территории 217

И.Ю. Небогатиков, И.П. Соловьев
Распознавание активности человека по носимым датчикам в задаче управления умным домом 221

И.О. Шальнев
Особенности работы с комплементарными объектами в распределенной виртуальной среде 224

В.П. Иванов
Приложение метода огибающих к синтезу управления в дифференциальной игре «преследование–уклонение» 227

Wenlong Yi, Ximeng Huang, Hua Yin, Shiming Dai
Blockchain-based approach to achieve credible traceability of agricultural product transactions 229

А.О. Ведякова, **А.А. Ведяков, А.А. Пыркин, А.А. Бобцов, А.С. Громов**
Оценивание частот мультигармонического сигнала за конечное время 233

Е.Н. Каруна, П.В. Соколов
Сравнение методов автоматической классификации русскоязычных текстов 237

М.А. Глухов, Э.Д. Глухова, Ю.П. Гречиха, А.С. Барулин
Автоматизация проектирования кадров авиационных многофункциональных пультов и индикаторов при помощи специализированного программного обеспечения 240

Секция 5
БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В УПРАВЛЕНИИ

И.Б. Саенко, И.Б. Паращук, И.В. Котенко
Теоретический и экспериментальный анализ компонента устранения неопределенности оценки и категоризации смыслового наполнения информационных объектов 243

И.Б. Паращук, И.Б. Саенко
Оценка качества процесса реконфигурации политик разграничения доступа в облачных инфраструктурах критически важных информационных систем 247

В.Д. Олисеенко, М.В. Абрамов
Применение методов распознавания лиц в задаче идентификации аккаунтов пользователей в различных социальных сетях 250

А.Г. Баженов, Е.Н. Карташев
Влияние процесса импортозамещения на порядок применения программного обеспечения на примере АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» 253

А.В. Тишков, Л.В. Страх, **Е.В. Дойникова**
Особенности взаимосвязей Я-функций в структуре личности студентов младших курсов медицинского университета 259

Б.Я. Советов, Т.М. Татарникова
Управление безопасностью системы умного дома 262

А.А. Браницкий, Е.В. Дойникова, И.В. Котенко
Методика классификации пользователей социальной сети по психологическим шкалам теста Аммона на основе искусственных нейронных сетей 266

Р.Р. Фаткиева, Е.Л. Евневич
Управление периметром мониторинга информационной безопасности промышленных объектов 269

К.Е. Израилов, **П.Е. Жуковская, П.А. Курта, А.А. Чечулин**
Исследование способа определения стойкости пароля к перебору на базе искусственной нейронной сети 273

КРУГЛЫЙ СТОЛ ПО ПРОБЛЕМАМ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ:
СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ

А.Г. Степанов, Г.А. Плотников
Компьютерное тестирование как средство оценивания результатов обучения 277

О.Ю. Белаш, Ю.А. Кораблев, Е.Е. Котова, М.Ю. Шестопалов
Информационные технологии в управлении техническими системами. Развитие образовательного направления 280

Т.Б. Чистякова, И.В. Новожилова
Методы и технологии подготовки инжиниринговых команд для ресурсосберегающего цифрового управления процессами вторичной переработки полимеров 284

Е.Е. Котова, А.С. Писарев
Формализация процедур учебного процесса на основе онтологического подхода 288

К. Атто
Адаптация алгоритмов анализа данных для использования в интеллектуальной среде обучения 291

Д.П. Плахотников
Применение аналитической платформы в образовательном процессе 294

В.П. Золотаревич, Н.С. Потемина, Е.Н. Климова
Использование дистанционных технологий в подготовке инженерных кадров 297

В.В. Захаров
Планирование модернизации и функционирования унаследованной информационной системы 299

В. Ф. Мочалов
Моделирование процесса оценивания состояния растительности на основе обработки материалов мультиспектральной съёмки 303

В. А. Ушаков
Разработка динамической модели управления структурной динамикой автоматизированной системы управления подвижными объектами 306

Секция 1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ

В. Н. КОЗЛОВ, А. А. ЕФРЕМОВ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

ПРОЕКЦИОННО-ОПЕРАТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

В статье рассмотрены история, примеры и тенденции развития математических операторных методов и методов программирования. История вопроса восходит к результатам чл.-корр. АН СССР А.А. Ляпунова [1], посвященным логическим схемам программ. Известно развитие подходов к решению указанной проблемы. В частности, в [2] использованы принципы иерархии, в [3, 4] – операторный метод программирования для решения математических задач. В данной работе рассмотрен один из вариантов проекционно-операторного подхода к синтезу управлений, обладающий конструктивностью в связи с квазианалитической формой задания операторов управлений.

В статье рассмотрены история, примеры и тенденции развития математических операторных методов и методов программирования. История вопроса восходит к результатам чл.-корр. АН СССР А.А. Ляпунова [1], посвященным логическим схемам программ. Известно развитие подходов к решению указанной проблемы. В частности, в [2] использованы принципы иерархии, в [3, 4] – операторный метод программирования для решения математических задач. Применяются численные методы математического программирования.

Численные методы математического программирования не позволяют качественно анализировать устойчивость синтезированных систем локально и интервально оптимального управления. Далее рассмотрено решение проблем управления на основе проекционно-операторного метода конечномерной оптимизации [5]. Метод доставляет квазианалитические решения условных задач минимизации линейных или квадратичных функционалов на аффинно-эллипсоидальных множествах с регуляризацией на основе негладких операторов. Квазианалитические решения задач условной линейной минимизации имеют вид

$$x_* = \arg\min\left\{\varphi(x) = c^T x \,\middle|\, x \in D\right\},\ x^* = \arg\max\left\{\varphi(x) = c^T x \,\middle|\, x \in D\right\} =$$

$$= 0,5\lambda^{-1} R^{-1}\left(-P_1 c + 2\lambda P_2^+ b\right), \lambda_{1,2} = \pm 0,25 c^T P_1^T R^{-1} P_1 c \left(r^2 - 4b^T\left(P_2^+\right)^T R^{-1} P_2^+ b\right)^{-1}, \qquad (1)$$

$$D^0 = \left\{x \,\middle|\, Ax = b,\ A \in \mathbb{R}^{m\times n},\ rang\ A = m\right\},\ D^1 = \left\{x \,\middle|\, x^T R x \le r^2, R = R^T > 0\right\} \in \mathbb{R}^n.$$

где $D = D^0 \cap D^1$, $r^2 - 4b^T\left(P_2^+\right)^T R^{-1} P_2^+ b > 0$. P_1, P_2 – «косые» проекторы.

Решение задачи условной квадратичной минимизации даны в форме:

$$x_* = \arg\min\left\{\varphi(x) = \|x - C\|_2^2 \,\middle|\, Ax = b,\ A \in \mathbb{R}^{m\times n},\ rang\ A = m,\ x^T x \le r^2\right\} =$$

$$= P^+ b + P^0 C\left(\alpha/\rho\right)^{1/2},\ \eta = \left(\alpha/\rho\right)^{1/2},\ \theta_* = 0,5\left(|\theta_0| - |\theta_0 - 1| + 1\right) \in [0,\ 1], \qquad (2)$$

$$\theta_0 = 0,5\left(1 - \eta^{-1}\right),\ \eta^{-1} = \sigma = \left(\rho/\alpha\right)^{1/2},\ \alpha = r^2 - b^T\left(AA^T\right)^{-1} b,\ \rho = C^T P^0 C.$$

Качественный анализ устойчивости систем управления дан ниже.

Утверждение [5]. Пусть: 1). Оператор системы имеет вид

$$x_{k+1} = H\Phi\left(x_k\right) + F\Phi\left[\gamma T_u\left(P_A H\Phi\left(x_k\right) + \bar{\theta}_p P^0 C\rho^{-1/2}\alpha^{1/2}\left(x_k\right)\right)\right], \qquad (3)$$

где $x_{k0} \in D -$ область притяжения, $\| H \|_2 < 1$. 2). Операторы в (3) обладают свойствами: $\Phi\left(x_k\right)\colon\ \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}^n$, $\Phi\left(u_k\right)\colon \mathbb{R}^m \to \mathbb{R}^m -$ ограничены в шарах и липшицевы с постоянными L_x и L_u; $D_u = \left\{ u_k \,\middle|\, \| u_k - C_u \|^2 \le r_u^2 \right\}$.

Тогда, если параметр сжатия s оператора (3) и параметр статической обратной связи γ ограничены условиями

$$s = \| H \|_2 L_x + \| F_u \|_2 L_u |\gamma| \cdot \| T_u \|_2 \left(\beta_1 L_x + \beta_2 \left\| p_C^0 \right\|_2\right) < 1,$$

$$|\gamma| < \left(1 - \| H \|_2 L_x\right) \times \left(\| F_u \|_2 L_u \| T_u \|_2\right)^{-1} \times \left(\beta L_x + \left\| p_C^0 \right\|_2 L r \beta^2\right)^{-1},$$

где $\left\| p_C^0 \right\|_2 = 1$, $\beta_1 \triangleq L_x \left\| P^+ \right\|_2 \|H\|_2$, $\beta_2 \triangleq 2rL_{\alpha} L_{p\alpha} \beta_1$, то дискретная система (3) имеет устойчивое положение равновесия x_*. Таким образом, анализ устойчивости выполнен методами функционального анализа [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ляпунов А.А.** О логических схемах программ // Проблемы кибернетики. Вып. 1. М.: Физматгиз. 1958. с. 46-74.
2. **Подловченко Р.И.** Иерархия моделей программирования // Программирование. 1981. № 2. с. 3-14.
3. **Краснов М.М., Кучугов П.А., Ладонкина М.Е., Тишкин В.Ф.** Разрывный метод Галеркина на трехмерных тетраэдральных сетках. Использование операторного метода программирования // Математическое моделирование. 2017, том 29, номер 2. С. 3-22.
4. Elliot Mendelson. Number Systems and Foundations of Analusis. Dover Publications, Ins. Mineola. New York. 2001.
5. **Козлов В.Н.** Проекционный метод синтеза ограниченных оптимальных управлений динамических систем энергетики. Изд-во Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. «Политех-пресс». СПб.: 2020. 170 с.
6. **Козлов В.Н., Ефремов А.А.** Введение в функциональный анализ. СПб.: Изд-во Ассоциации вузов С-Петербурга. 2018. 88 с.

V.N. Kozlov, A.A. Efremov (Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg).

Projection-operator Optimization of Controls of Dynamic Objects

The article deals with the history, examples and development trends of mathematical operator methods and programming methods. The history of the issue goes back to the results of Corr. USSR Academy of Sciences A.A. Lyapunov [1], dedicated to logical schemes of programs. The development of approaches to solving this problem is known. In particular, in [2] the principles of hierarchy were used, in [3, 4] - an operator programming method for solving mathematical problems. In this paper, one of the variants of the projection-operator approach to the synthesis of controls is considered, which is constructive in connection with the quasi-analytical form of specifying control operators.

Д. Г. АРСЕНЬЕВ, Д. Е. БАСКАКОВ, В. П. ШКОДЫРЕВ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ГРАФОВЫЕ МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ СВЯЗАННЫХ ДАННЫХ

В связи с распространением различных интеллектуальных датчиков, устройств интернета вещей, смартфонов, автономных транспортных систем, различных систем промышленной и домашней автоматизации генерируется беспрецедентное количество данных, в том числе и интеллектуально-связанных между собой. Связанные данные позволяют выстраивать сложные и разнообразные отношения между объектами и субъектами реального мира. К сожалению, современные системы обработки больших данных и модели машинного обучения крайне плохо подходят для работы с такими динамически связанными данными, особенно в случае систем реального времени. Мы обсуждаем современные и перспективные подходы работы с такими данными с использованием графовых моделей анализа.

Введение. Давайте представим, что у нас есть сеть передачи данных, как на рис. 1. При этом в задачи администратора такой сети входит в том числе и диагностика неисправностей и сбоев, которые происходят в такой сети. Администратору часто приходится отвечать на следующие вопросы:

1. Каково было состояние сети в какое-то время?
2. Были ли какие-то каналы сети или башни перегружены и в какое время?
3. Каковы причины такого поведения сети и конкретных устройств?
4. Когда закончилась данная проблема и что происходило через час?
5. Что нужно сделать, дабы такая проблема не повторялась?

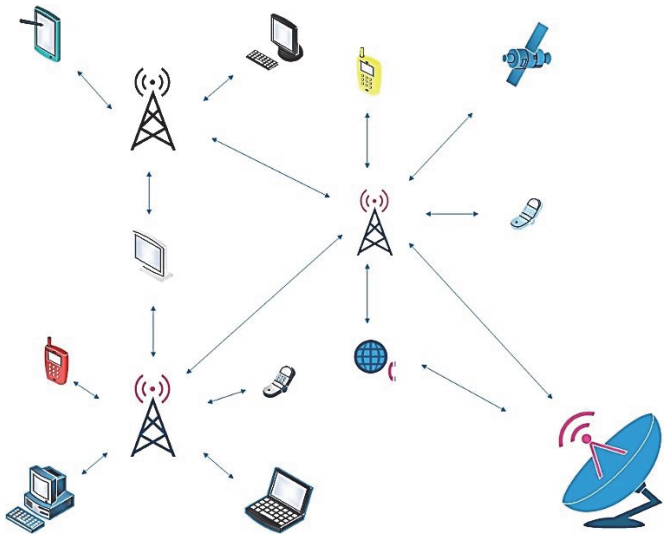


Рис. 1. Мобильная сеть передачи данных

Рассмотрим в качестве другого примера работу инвестиционного банка или биржи. Человек или отдел, которые отвечают на бирже за техническое состояние и обслуживание сетей и устройств передачи данных, должны уметь отвечать на ряд непростых вопросов, а именно:

1. От каких факторов зависит нагрузка на сеть передачи данных?
2. Как в течение дня данная нагрузка распределяется и какой она будет, например, завтра в 10.30?
3. По какой причине ряд клиентов не смогли сегодня с 13. 00 до 13. 14 вовремя выставить торговые заявки и что нужно сделать, дабы такое впредь не повторялось?

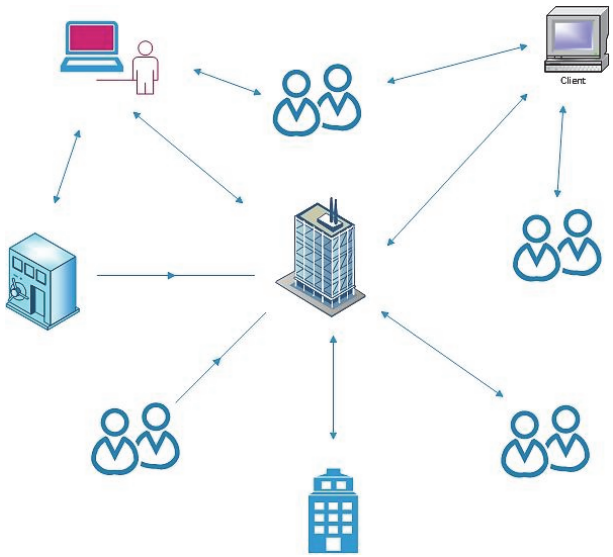


Рис. 2. Юридические и физические лица, работающие с банком

Мы можем также предположить, что для анализа сценариев поведения системы администраторы и технические специалисты мобильной сети используют продвинутые средства анализа, в том числе и пакеты машинного и глубокого обучения вида TensorFlow [1] или Scikit Learn [2]. Но у описанных инструментов выше есть две существенные проблемы. Во-первых, они не предназначены для работы с данными в режиме реального времени. Ну и во-вторых, данные инструменты крайне плохо подходят для работы с данными очень больших размеров. Налицо проблема динамичности и масштабируемости такой системы анализа, особенно в режиме реального времени.

Система на рис. 2 выглядит чуть иначе с точки зрения постановки целей и задач. Основная задача аналитика такой системы – выявление прежде всего финансовых махинаций или потенциально опасных операций или сделок, которые могут привести, например, к отрицательному балансу счета. В таких случаях аналитики используют модели машинного обучения и алгоритмы, которые позволяют в режиме почти реального времени выявлять потенциально опасные и проблемные транзакции, оценивать стороны таких операций, историю и назначение платежей. На основании такого анализа возникают некие новые модели и шаблоны потенциально опасных операций, которые и позволяют далее модернизировать алгоритм обучения. Инструменты могут быть примерно схожими. Помимо описанных ранее TensorFlow [1] и Scikit Learn [2] можно использовать инструмент анализа, управления, динамики и оценки структуры сложных сетей NetworkX [3]. Данный пакет содержит в последней версии 62 алгоритма работы с графами, несколько функций, а также более 26 способов генерации графов различных типов. При этом в случае с банком анализ операций может быть значительно более сложным в силу большого количества данных даже небольшого размера и сложности обнаружения таких операций в принципе, которые зачастую мошенниками проводятся под видом законных. В любом случае, проблема *динамичности* и *масштабируемости* имеет место быть и здесь. При этом данные, с которыми приходится работать аналитикам таких сетей, носят не какой-то обезличенный характер. Данные наделены весьма обширными семантическими причинно-следственными связями, то есть мы имеем дело со *связанными данными*.

Постановка задачи. На примере сложных технических систем мобильной связи и банковской системы расчетов стоит задача научиться анализировать в режиме реального времени события, которые формируют *связанные данные* и сложные семантические связи различного свойства. Как должна быть устроена такая система? Какие алгоритмы и подходы следует использовать при такой работе? В чем недостаток существующих систем? Об этом и постараемся рассказать ниже.

Методы решения.

Связанные данные. Под *связанными данными* мы понимаем данные, между которыми заданы или известны некоторые отношения в виде:

1. Предикатов (простейший случай).

2. Связей (один к одному, один ко многим, многие ко многим).
3. Путей (последовательность вершин, в которой каждая вершина соединена со следующим ребром) [4].
4. Графические вероятностные модели [5].
5. Неструктурированные отношения [6].

Области использования динамических связанных данных весьма обширны и конечно не ограничиваются только сферами сотовой связи или банкинга. Различные мобильные сенсоры и устройства интернета вещей, автономные транспортные средства [7], дальнейшее целостное развитие концепции связанных данных в парадигме «умные города» [8], – вот лишь неполный перечень возможных аспектов использования умных сенсоров для получения, передачи и обработки данных. При этом важно заметить, что существующие системы обработки данных для интернета вещей обладают несколькими существенными недостатками или ограничениями.

Хранение. Анализ и обработка большого объема связанных данных требуют совершенно новых подходов для построения высокопроизводительных систем, работающих в режиме реального времени. Данные генерируются каждый день, их извлечение и обработка требует нетривиальных подходов и концепций для организации эффективной работы.

Производительность. Система обработки связанных данных должна не только в режиме реального времени уметь принимать эти данные, но и уметь на основе полученных данных принимать те или иные решения, а также уметь объяснять и представлять, что же происходит на самом деле. На рынке есть немало решений, которые по-своему решают те или иные задачи, описанные выше. Такие решения, как NVIDIA Tegra [9], Altair Monarh [10], ASAP [11] заслуживают, безусловно, внимания при решении задач определенного типа.

Параллельная обработка связанных данных. Параллельные системы обработки данных стали крайне популярными в последние годы. При этом все большое распространение получает использование таких подходов при работе с большими и распределенными данными. В таких системах достаточно часто используются упрощенные абстракции данных и операторы, которые разработчики используют для достижения желаемых целей.

Одним из наиболее ярких представителей таких систем является MapReduce [12], который содержит только два оператора: *map* и *reduce.* MapReduce—модель распределенных вычислений, представленная компанией Google [13], используемых для параллельных вычислений над очень большими данными, вплоть до нескольких петабайт, наборами данных в компьютерных кластерах. Популярность MapReduce среди разработчиков и инженеров привела к появлению большого количества решений и систем, например *Apache Flink* [14]. При этом дальнейшее развитие проекта MapReduce привело к созданию систем нового поколения с более продвинутыми движками, сервисами и функциями, например *Naiad* [15] и *Spark* [16]. Данные системы содержат новые операторы, декларативные интерфейсы [17], более мощные алгоритмы управления кэшированием в память для снижения нагрузки при обработке данных и т.д.

Параллельная обработка графов. В этом разделе мы кратко рассмотрим параллельную обработку графов, касаясь их представления, абстракции и оптимизации.

Свойства графовых моделей. Под *графами* мы будем понимать абстрактные структуры данных, описывающих структурные отношения между связанными данными и объектами, которые являются носителями этих данных и свойств [18]. При этом свойства могут включать и метаданные (например, профили пользователей и отметки времени, количество соседей и т. д.). В качестве примера на рис. 1 такими метаданными обладают как базовые станции (содержат общий объем переданного трафика, количество активных пользователей, число сбоев и их возможные причины), так и пользователи (содержат данные о количестве звонков и сообщений). В таком случае администратор сети может создавать различные графовые модели сети в зависимости от времени, количества пользователей, отношения между ними и данными, которыми они обмениваются. Графы логически представлены и в MapReduce как пара наборов свойств вершин и ребер и их отношений с другими вершина посредством ребер. Это позволяет выстраивать сложные композиции в рамках потока данных и его анализа [19].

Альтернативным способом представления связанных данных является использование модели Resource Description Framework (RDF) [20]. Каждое свойство объекта в модели RDF описывается в виде триплета: *субъект – предикат (свойство) – объект:*

Рис. 3. Триплет RDF

На наш взгляд, использование графовых моделей представления знаний более соответствует анализу связанных данных, нежели модель RDF.

Граф – параллельная обработка данных. Современные системы обработки графовых данных дают мощные инструмент для их использования в том числе и при работе с параллельными данными. Типовая граф-параллельная абстракция состоит из графа и программы (в общем случае), которая работает в одной из вершин или в нескольких. Допускается использование до нескольких программ в одной вершине. Каждая программа запускается индивидуально и взаимодействует с соседними вершинами по какому-то алгоритму: передача общего состояния всем *соседним вершинам* (например, GraphLab [21]) или передача сообщений конкретным вершинам Pregel [22]. Дальнейшим развитием такого подхода является разложение Gather-Apply-Scatter (GAS) [23], в рамках которого *вершинная программ* использует три параллельные фазы: сбор информации и данных от смежных верши и ребер, применение функции к полученным данным и передача результатов работы функции посредство ребер другим вершинам.

```
def Gather(u, v) = Accum
def Apply(v, Accum) = vnew
def Scatter(v, j) = jnew, Accum
```

Листинг 1. Gather - Apply - Scatter (GAS) в реализации PowerGraph [24]

Тензорная обработка данных. Графовая обработка связанных данных имеет ограничение в виде одномерного пространства. При этом современные и перспективные системы глубокого обучения используют уже не векторные или матричные данные, а тензорные данные неограниченной размерности [1]. Дальнейшее развитие тензорной обработки данных сдерживается в том числе и отсутствием серьезных теоретических оснований для такой деятельности. Тем не менее, уже появилось понятие Adaptive Tensor Learning и Tensor Networks [25].

Стягивание ребра графа. В теории графов *стягивание ребра* – унарная операция, которая удаляет ребро из графа, а до этого связанные ребром вершины сливаются в одну. Есть и другая схожая операция, как *отождествление вершин,* но с более слабыми ограничениями. Назовем $\kappa -$ связанный граф G *минимальным по стягиванию, если для любого ребра* $e \in E(G)$ граф $G \cdot e$ не является $\kappa -$ связанным. Стягивание графа на примере алгоритма Каргера [26] выглядит следующим образом: на произвольном ребре $e = \{u, v\}$ происходит объединение вершин графа u и v дв одну uv. Если удаляется вершина v, то каждое ребро вида $\{v, x\}$ заменяется на ребро вида $\{u, x\}$. Петли графа удаляются и граф более не содержит петель.

procedure contract ($G= (V, E)$):

while $|V| > 2$

choose $e \in E$ uniformly at random

$G \leftarrow G / e$

return the only cunt in G

Листинг 2. Псевдокод алгоритма Каргера

Алгоритм Каргера представляет собой равновероятный выбор случайного имеющегося ребра с дальнейшим объединением вершин. В случае работы со связанными данными операция стягивания ребер графа носит фундаментальный характер, ибо позволяет существенно упростить работу при анализе графов большого размера.

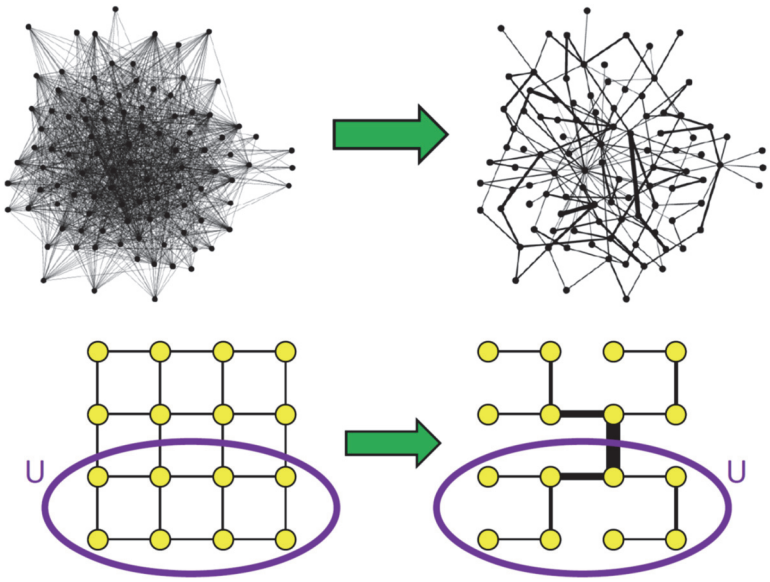


Рис. 4. Примеры стягиваний ребер графов

Анализ связанных данных. Наше видение анализа связанных данных с помощью графов состоит в следующем:

- Необходимо использовать случайным образом несколько алгоритмов для стягивания ребер графа.
- Необходимо использовать различные системы обработки графов с разными режимами работы: асинхронные или в режиме реального времени.
- Система должна создавать минимальную рабочую нагрузку на имеющиеся ресурсы.

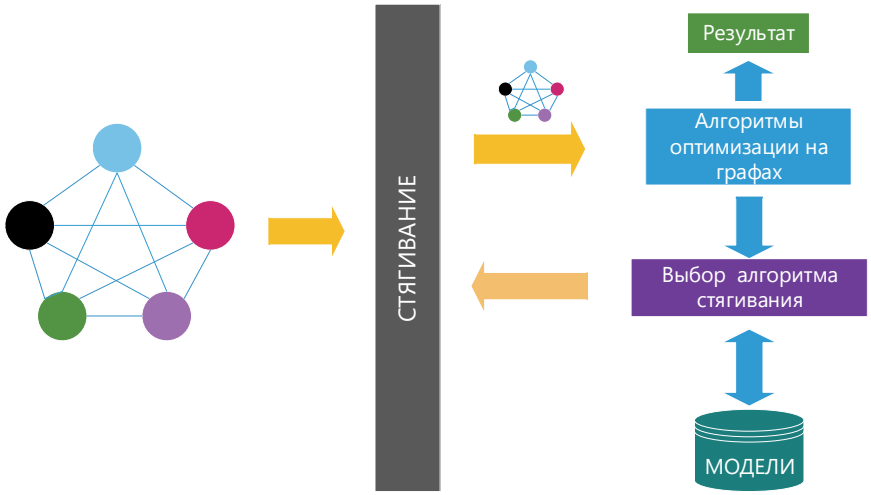


Рис. 5. Архитектура системы анализа связанных данных с использованием графов

Результаты. В рамках проведенного исследования была создана модель обработки связанных данных с использованием различных алгоритмов. Важно заметить, что за рамками данного изложения находится настройка параметров стягивания различных графов с использованием алгоритмов оптимизации. Дальнейшим развитием данной архитектуры видится использование методов машинного обучения для оптимизации параметров стягивания на графе. Также перспективным видится разработка теоретических основ многомерного стягивания в случае использования вместо обычных одномерных вершин тензоров n-размерности [1].

Выводы. Обработка связанных данных в режиме реального времени является, по нашему мнению, крайне перспективным направлением построения и анализа сложных иерархических структур. При этом такие структуры возникают часто весьма спонтанно как следствие отражения сложных взаимоотношений между объектами и субъектами в реальном мире. Актуальным

остается вопрос и дальнейшего развития как алгоритмов и методов такого анализа, так и построение теории поведения таких систем в целом.

Заключение. В работе мы показали наше видение развития анализа связанных данных с использованием графов. Архитектура предложенной системы требует дальнейшей практической реализации и доработки прежде всего с точки зрения автоматизации и применения методов машинного обучения. Именно в этом направлении и будут сосредоточены наши дальнейшие усилия, ибо практическая реализация таких систем как раз и демонстрирует эффективность предложенного подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. TensorFlow [Электронный ресурс]
2. Scikit Learn [Электронный ресурс] URL: https://scikit-learn.org/stable/
3. NetworkX [Электронный ресурс] URL: http://networkx.github.io/
4. Путь (теория графов) [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Теория_графов
5. **Daphne Koller and Nir Friedman**. Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques - Adaptive Computation and Machine Learning. The MIT Press, 2009. 1268 pp.
6. **Peter W. Battaglia, Jessica B. Hamrick, Victor Bapst, Alvaro Sanchez-Gonzalez, Vinicius** Zambaldi etc. Relational inductive biases, deep learning, and graph networks 2018. URL: https://arxiv.org/pdf1806.01261.pdf
7. Self-driving car [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Self-driving_car
8. **Строев П.В.,** С.Б.Р. "Умный город "как новый этап городского развития, Грант РГНФ № 17-02-00269
9. NVIDIA Tegra [Электронный ресурс] URL: https://developer.nvidia.com/tegra-development
10. ALTAIR [Электронный ресурс] URL: https://www.altair.com/monarch/
11. ASAP [Электронный ресурс] URL: https://www.asapnetwork.org/
12. Hadoop.apache.org [Электронный ресурс] URL: https://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/mapred_tutorial.html
13. Google [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Google
14. Apache Flink [Электронный ресурс] URL: https://flink.apache.org/
15. **Derek G. Murray, Frank McSherry, Rebecca Isaacs, Michael Isard, Paul Barham, and Martin Abadi**. Naiad: A Timely Dataflow System // ACM. Farminton, Pennsylvania. 2013. Vol. Proceedings of the Twenty-Fourth ACM Symposium on Operating Systems Principles. SOSP ’13. pp. 439-455.
16. Spark.Apache.org [Электронный ресурс] URL: https://spark.apache.org/
17. **Кейно П.П., Силуянов А.В.** Разработка и внедрение интерпретатора декларативного языка моделирования Web-интерфейсов на высоконагруженных системах // Прикладная информатика, Vol. 10, No. 55, 201. pp. 55-70.
18. **Ian Robinson, Jim Webber, and Emil Eifrem**. Graph Databases. O’Reilly Media, Inc, 2013.
19. **Joseph Gonzalez, Reynold Xin, Ankur Dave, Daniel Crankshaw, Michael J. Franklin**. GraphX: Graph Processing in a Distributed Dataflow Framework // 11th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 14). Broomfield. Oct. 2014.
20. Resource Description Framework [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Resource_Description_Framework
21. **Yucheng Low, Joseph Gonzalez, Aapo Kyrola, Danny Bickson, Carlos Guestrin, Joseph Hellerstein**. GraphLab: A New Framework For Parallel Machine Learning // https://arxiv.org/. 2010. URL: https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1408/1408.2041.pdf
22. **Grzegorz Malewicz, Matthew H. Austern, Aart J.C Bik, James C. Dehnert, Ilan Horn, Naty Leiser, and Grzegorz Czajkowski**. Pregel: A System for Large-scale Graph Processing // Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. Indianapolis, Indiana, USA. 2010. pp. 135-146.
23. **Joseph E. Gonzalez, Yucheng Low, Haijie Gu, Danny Bickson, and Carlos Guestrin**. PowerGraph: Distributed Graph-parallel Computation on Natural Graphs // Proceedings of the 10th USENIX Conference on Operating Systems Design and Implementation. OSDI’12. Hollywood, CA, USA. 2012. pp. 17-30.
24. github.com [Электронный ресурс] URL: https://github.com/jegonzal/PowerGraph
25. **Meraj Hashemizadeh, Michelle Liu, Jacob Miller, Guillaume Rabusseau.** Adaptive Tensor Learning with Tensor Networks // arxiv. 2020. URL: https://arxiv.org/pdf/2008.05437.pdf
26. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Karger%27s_algorithm

D.G. Arsenjev, D.E. Baskakov, V.P. Shkodyrev (Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg).

Requirements to Formatting the Papers to be Published in the Proceedings of the Multiconference on Control Problems

In connection with the proliferation of various intelligent sensors, IoT devices, smartphones, autonomous transport systems, various industrial and home automation systems, an unprecedented amount of data is generated, including intelligently linked to each other. Linked data allows you to build complex and varied relationships between objects and subjects in the real world. Unfortunately, modern big data processing systems and machine learning models are extremely poorly suited for working with such dynamically linked data, especially in the case of real-time systems. We discuss current and future approaches to working with such data using graph analysis models.

С. В. МИКОНИ, Д. П. БУРАКОВ
СПИИРАН, Санкт-Петербург

МНОГОМЕРНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ЦЕЛИ

Методы многомерного оценивания объектов сведены в систему относительно ограничений задачи выбора, трактуемых частными целями. На основе отношения превосходства (не менее, не более) выделены монотонные функции достижения цели, применяемые для упорядочения объектов. На основе отношения соответствия (равно, принадлежит интервалу) выделены немонотонные функции достижения цели, применяемые в нечёткой классификации объектов.

Показана дополнительность функций отклонения от цели по отношению к функциям достижения цели, что допускает их альтернативное применение. Рекомендованы специфические применения функций отклонения от цели.

Введение. Как при создании, так и при применении объектов любой природы решается задача выбора наиболее перспективного варианта. Современные объекты характеризуются многими десятками показателей. Выбор наилучшего варианта осуществляется на основе упорядочения кандидатов по качеству или техническому уровню [1]. Упорядочение кандидатов выполняется с применением методов многомерной оптимизации (Multi-Attribute Rating Technique, Multi-Attribute Optimization, Multi-Objective Optimization, Multi-Criteria Optimization). В соответствии со своим назначением в англоязычной литературе они называются рейтинговыми методами оценивания в отличие от нерейтинговых методов (Outranking Methods) [2], имеющих ограничение на размерность задачи выбора. Все перечисленные в скобках методы основаны на критериальной оценке каждого показателя с заданием верхней или нижней границы его шкалы в качестве целевого значения. Первому требованию соответствует максимизация ($\rightarrow$ max), а второму – минимизация ($\rightarrow$ min) показателя. В работе [3] такие цели названы *идеальными*, а отражающие их критерии – *целевыми* критериями по аналогии с *целевой* функцией в задаче математического программирования. Им противопоставлены *реальные* цели с промежуточными значениями на шкале показателей. Критерии, отражающие реальные цели, названы в [3] ограничительными критериями по аналогии с ограничениями $\geq$ и $\leq$ в задаче математического программирования. Методы, выполняющие упорядочение объектов на основе указанных целей, были названы соответственно методами достижения идеальных и реальных целей.

В работе [4] была поставлена под сомнение парадигма многокритериального оценивания, основанная на получении компромисса в достижении частных целей с помощью обобщающих (синтезирующих) функций. Достижению максимальной полезности (ценности) была противопоставлена парадигма достижения поставленной цели (Reference Objective), трактуемой точкой в n-мерном пространстве. Утверждалось, что «любая точка в целевом пространстве, независимо от того, достижима она или нет, идеальна или нет, может использоваться вместо весовых коэффициентов для получения функций, которые имеют минимумы только в точках Парето». В качестве таковой функции был предложен минимаксный критерий частных отклонений от поставленной цели (точки в пространстве).

Очевидно, что принцип оценивания отклонений от цели противоположен принципу их достижения. И, следовательно, они должны быть взаимосвязаны, более того, должны дополнять друг друга. Очевидно также, что принцип достижения максимальной полезности не противоречит достижению поставленной цели. Отсюда возникает задача анализа взаимосвязи подходов, основанных на достижении и отклонении от цели, и определению областей их применения, чему и посвящена настоящая работа.

Оценочные функции. Согласно [3], к оценочным функциям $f_o(y_j)$, областью определения которых является шкала j-го показателя $Y_j = [y_{j,\min}, y_{j,\max}]$, $j = \overline{1,n}$, отнесем следующие функции:

1) ценности v: $Y_j \rightarrow [0, 1]$;
2) полезности u: $Y_j \rightarrow [-1, 1]$;
3) плановая s: $Y_j \rightarrow [0, 200\ \%]$;
4) принадлежности объекта l-му классу по j-му показателю μ_l : $Y_j \rightarrow [0, 1]$, $l = \overline{1,k}$.

Здесь и далее $y_j = f_j(x)$ – значение j-го показателя объекта x. Справа указаны области значений оценочных функций (ОФ). Функции ценности (ФЦ) и полезности (ФП) нормированы относительно шкалы j-го показателя. Область значений плановой функции (ПФ) ограничена сверху двукратным выполнением плана. Относительно невыполнения и перевыполнения плана область значений ПФ также может быть сведена к биполярной абсолютной шкале [–1, 1]. Невыполнению плана $0\% \le s(y_j) < 100\%$ соответствует шкала [–1, 0), а перевыполнению плана $100\% < s(y_j) \le 200\%$ – шкала (0, 1]. Область значений функции принадлежности (ФПр) определена аксиомами нечёткой логики. Каждая ОФ по-своему отображает в область значений Y_j отношение предпочтения на шкале j-го показателя.

С точки зрения достижения поставленной цели, все ОФ подлежат максимизации. Они и различаются между собой, в первую очередь, *способом задания* цели c_j на шкале j-го показателя с помощью критерия, выражаемого через двухместный предикат предпочтения $Pr(y_j, c_j)$. Целевое значение c_j играет роль базы сравнения величины y_j. Значение c_j задаётся либо на границе шкалы показателя ($c_j = y_{j,\max}$, или $c_j = y_{j,\min}$), либо в промежуточной точке шкалы ($y_{j,\min} < c_j < y_{j,\max}$). Устремление к идеальным целям выражается целевыми критериями $y_j \to \max$ и $y_j \to \min$.

Относительно реальной цели применяются следующие виды предпочтения: ≥ (не менее), ≤ (не более), = (равно), ∈[] (принадлежит интервалу). Приближение к цели сопровождается увеличением значения ОФ, а в точке c_j она должна иметь приемлемое значение полезности либо ценности $f_o(c_j) = u^c_j$. Для идеальной цели $u^c_j = 1$, а для реальной цели $0 < u_{j\text{п}} \le 1$.

При неоднородности шкал показателей и однородности предпочтений на всех делениях шкалы мера достижения цели объектом x от границы шкалы оценивается линейной нормирующей функцией. Для предпочтения $y_j \ge c_j$ $f'_{o,\max}(y_j)$ на отрезке $[y_{j,\min}, c_j]$ имеет вид:

$$f'_{o,\max}(y_j) = \frac{y_j - y_{j,\min}}{c_j - y_{j,\min}} + b\,. \qquad (1)$$

Превышение цели c_j на отрезке $[c_j, y_{j,\max}]$ описывается функцией $f''_{o,\max}(y_j)$:

$$f''_{o,\max}(y_j) = \frac{y_j - c_j}{y_{j,\max} - c_j} + b\,. \qquad (2)$$

В формуле (1) нижняя граница b функции $f_{o,\max}$ $b = -1$, а формуле (2) $b = 0$. На рис. 1 кусочно-линейная функция $f_{o,\max}(y_j)$ представлена линиями *1′* и *1″*. В [3] нормирующая функция критерия трактуется как линейный вариант функции полезности $u(y_j)$. На рис. 1 $u(c_j)=0$, что согласно [5] соответствует отказу ЛПР от участия в лотерее. Аналогичным образом создаётся вариант ОФ $f_{o,\min}(y_j)$, нормирующей показатель в соответствии с критерием $y_j \le c_j$.

С учётом склонности ЛПР к риску функция $f_{o,\max}(y_j)$ преобразуется в ФП $u'(y_j)$ на отрезке шкалы $[y_{j,\min}, c_j)$ и с учётом несклонности к риску – в ФП $u''(y_j)$ на отрезке шкалы $(c_j, y_{j,\max}]$. Нелинейность формируется возведением функции в соответствующую степень $n \ne 1$. На рис. 1 склонность ЛПР к риску на участке достижения цели представлена выпуклой вниз функцией *2′*, а несклонность ЛПР к риску на участке превышения цели – выпуклой вверх функцией *2″*.

Условием достижения цели $f_o(y_j)=1$ для предпочтения интервального соответствия является $y_j \in [c_{j,\text{н}}, c_{j,\text{в}}]$. Уменьшение степени соответствия цели по мере отдаления значения y_j от границ интервала (влево от $c_{j,\text{н}}$ и вправо от $c_{j,\text{в}}$) описывается формулами (1) и (2) с $b = 0$ и подстановкой этих значений вместо c_j. На рис. 2 они представлены левым (линия *1′*) и правым (линия *1″*) фронтами трапеции. В случае $c_j = c_{j,\text{н}} = c_{j,\text{в}}$ интервальное соответствие превращается в точечное соответствие $y_j = c_j$, а трапеция сводится к треугольнику. Этим функциям соответствуют трапецеидальная и треугольная функции принадлежности классу в нечёткой логике.

Подобно монотонной функции достижения цели (график 1 на рис. 1) немонотонную функцию соответствия цели (график 1 на рис. 2) также можно преобразовать в нелинейную функцию на основе сочетания склонности и несклонности ЛПР к риску (кривые *2′* и *2″* на рис. 2). Изложенные функции реализованы в системе выбора и ранжирования СВИРЬ [6].

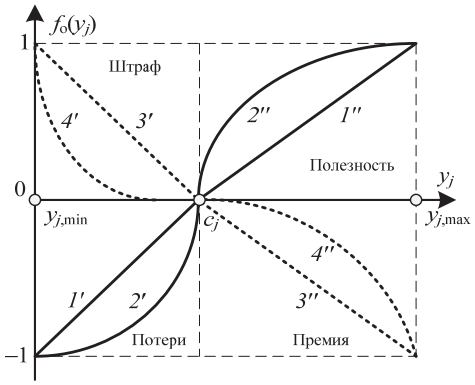


Рис. 1. Функции, реализующие предпочтение $y_j \geq c_j$

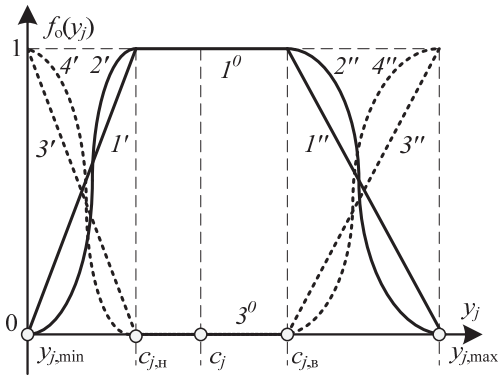


Рис. 2. Функции, реализующие предпочтения $=, \in, [\,]$

Функции отклонений. Согласно принципу «от противного» функции отклонения (ФО) дополняют функции достижения и соответствия цели до 1. На рис. 1 и 2 кусочно-линейный (график 3 на рис. 2) и нелинейный (график 4 на рис. 2) варианты функций отклонения, симметричные функциям достижения и соответствия цели, показаны пунктирными линиями. Нелинейные участки функции соответствуют изменению предпочтений на шкале показателя.

Принцип дополнительности позволяет применять ФО для решения задач упорядочения и классификации объектов наряду с функциями достижения и соответствия цели. В [7] было предложено степень недостижимости цели оценивать штрафами, измеряемыми на положительной полуоси графиков. Монотонные функции достижения реальной цели отличаются возможностью превышения цели (перевыполнения плана). Степень превышения цели измеряется областью поощрений на отрицательной полуоси графика (рис. 1).

При трактовке области определения $[c_{j,н}, c_{j,в}]$ немонотонной функции нормой она применима для решения задачи параметрического контроля объекта по многим показателям. Деление области значений ФО на области штрафов и поощрений даёт возможность раздельного упорядочения объектов в этих областях. Упорядочение по штрафам, в частности, позволяет выделять объекты, находящиеся в предотказном состоянии.

Заключение. Трактовка ограничений оптимизационной модели частными целями позволяет перейти от метода условной оптимизации к методу достижения частных, в том числе недостижимых, целей. Приведение шкал показателей к единой абсолютной шкале позволило объединить все оценочные функции в систему. Показано, что в силу дополнительности функций отклонения от цели функциям достижения цели их можно использовать для решения общей задачи. Деление шкалы функций отклонения на области штрафов и поощрений даёт возможность дополнительно решать задачи параметрического контроля объектов и их упорядочения по степени отклонения от цели по штрафам и поощрениям.

Работа проводилась при поддержке грантов РФФИ (проекты № 19-08-00989-а, № 20-08-01046) в рамках бюджетной темы № 0073–2019–0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Семенов С.С.** Оценка качества и технического уровня сложных систем. Практика применения экспертных оценок / С.С. Семенов. М. ЛЕНАНД, 2015. 350 с.
2. **Velasquez M., Hester P.T.** An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods // International Journal of Operations Research. 2013. Vol. 10, No. 2, P. 56-66.
3. **Микони С.В.** Теория принятия управленческих решений. СПб.: Лань, 2015. 448 с.
4. **Wierzbicki A.P.** The Use of Reference Objectives in Multiobjective Optimization. In: G. Fandel and T. Gal, Eds., Multiple Criteria Decision Making Theory and Applications, Springer-Verlag, Berlin, 1980. P. 468-486.
5. **Нейман Д., Моргенштерн О.** Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 708 с.
6. Система выбора и ранжирования СВИРЬ. URL: http://www.mcd-svir.ru/refer07.html, проверено 12.08.2020.
7. **Mikoni S.V.** Method of choice by approximation to a pattern // Proceedings of Conf. NITE'2000. Minsk: Belarus State Economic University, 2000. P. 156–159.

S. V. Mikoni, D. P. Burakov (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg)

Multi-Dimensional Object Estimation by its Deviation from Target

The methods of multidimensional estimation of objects are brought into a system with respect to the constraints of the choice problem, interpreted by particular targets. On the basis of the superiority relation (such as “not less”, “not great”), the monotonic functions of achieving the target, used to order objects, are distinguished. On the basis of the correspondence ratio (equal to, belongs to the interval), non-monotonic functions of achieving the target, used in the fuzzy classification of objects, are distinguished. The complementarity of the functions of deviation from the target in relation to the functions of achieving the target is shown, which allows their alternative application. Specific applications of deviation functions are recommended.

В. И. ГОРОДЕЦКИЙ, М. Г. ПАНТЕЛЕЕВ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

СЕТИ АВТОНОМНЫХ АГЕНТОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В СРЕДЕ С ПРОТИВОДЕЙСТВИЕМ: ОСОБЕННОСТИ И КОМПОНЕНТЫ МОДЕЛИ

Рассматривается модель группового поведения и управления в системе, состоящей из автономных объектов, существующих в реальном мире и в среде Интернет с противодействием. Актуальность проблемы обусловлена ростом роли Интернет-технологий в моделях конкуренции в экономике, политике, в компьютерной безопасности, и т. д. Модель проблемы анализируется в контексте цикла Бойда. Формулируются задачи фаз цикла, обосновывается многоагентная модель поведения автономных объектов и цифрового двойника внешней среды в контуре управления. Аргументируется необходимость использования модели единого семантического пространства знаний и данных.

Введение. Область информационных технологий характеризуется значительной динамикой, в которой в последние годы наиболее заметен тренд в сторону распределённых систем сетевой структуры, компонентами которой являются автономные объекты различных типов (физические, виртуальные, социальные), каждый из которых обладает встроенными вычислительными и коммуникационными возможностями. Как правило, эти объекты являются относительно простыми по своей структуре и функциональным возможностям. Однако, благодаря большому числу объектов в системе и интенсивному взаимодействию, они оказываются в состоянии решать самые сложные задачи. Как правило, такие систем используют концепцию Интернета вещей, облачных и периферических вычислений (англ. *Edge Computing*), которые в настоящее время являются базовыми концепциями создания крупномасштабных распределённый систем. В таких системах распределённые объекты общаются между собой в среде Интернет, активно используют его информационные, вычислительные и коммуникационные ресурсы, образуя сложно структурированный сетевой объект, значительная часть компонент которого существует в виртуальной среде. Приложения такого класса занимают все больше места в современном цифровом мире и играют все большую роль в экономике, индустрии, социальной сфере и в обеспечении безопасности общества в широком смысле.

Среди них по сложности выделяются такие приложения, которые функционируют в реальном времени в конкурентной внешней физической и/или виртуальной среде, которая оказывает целенаправленное *противодействие* их нормальной работе. Примерами таких приложений являются модели конкурентной борьбы на международных рынках, которая часто выходит за пределы чисто экономических, рыночных отношений. Такое противостояние сложных динамических систем сетевой структуры в мирное время наиболее ярко наблюдается в киберпространстве. Уже более 20 лет можно наблюдать *операции в киберпространстве* в целях нарушения безопасности критически важных компьютерных систем, целостности и конфиденциальности информации, содержащейся в них [1, 2]. Аналогичные операции крупного масштаба можно наблюдать в сфере информационных войн ив форме психологических воздействий на ту или иную группу населения одной или нескольких стран сразу. Можно утверждать, что техническая, военная и другие виды разведки активно задействуют ресурсы виртуального пространства и работают в среде с противодействием со стороны средств защиты информации

Внешняя среда с сознательным противодействием оказывает влияние на все аспекты сетевого объекта: на его архитектуру и модели взаимодействия, на модели поведения и принципы управления поведением автономных объектов сети и поведения системы в целом. Такая внешняя обычно задаёт жёсткие требования к структуре информационного пространства данных и знаний, к структурам их представления, хранения и к механизмам использования. По существу, сетевой объект в среде с противодействием – это новый класс объектов и задач управления, который пока слабо исследован даже на концептуальном уровне.

Актуальность задач в такой постановке постоянно возрастает. Она возрастает с ростом роли Интернет-технологий в различных аспектах жизни общества и отдельного человека, а также в связи с тем, что различные формы конкуренции и противостояния в экономике, политике, в военной сфере, экологии, компьютерной и информационной безопасности, и в других критиче-

ских областях общественной жизни все больше переносятся в виртуальное пространство и практически реализуются на цифровом уровне.

Целью данной работы является содержательный анализ особенностей моделей поведения объектов сетевой структуры в среде с противодействием и моделей управления ими. В основу рассматриваемой модели поведения и управления положена стратегия управления, предусмотренная циклом Бойда. В этом контексте далее сначала анализируются содержательно особенности объектов сетевой структуры с целенаправленным поведением в среде с противодействием. Затем обосновывается важность многоагентной архитектуры для спецификации модели поведения взаимодействующих автономных объектов системы и модели управления ими, а также для спецификации модели цифрового двойника противодействующей внешней среды в контуре управления. Далее анализируются особенности моделей, поддерживающих реализацию функций, выполняемых системой на разных фазах цикла Бойда, в частности, при оценке и прогнозировании ситуаций и при принятии решений в интересах реализации целенаправленного поведения с учётом противодействия. Приводится обоснование необходимости использования модели единого семантического пространства знаний и данных. В отдельном разделе обсуждаются основные особенности описанной проблемы и предложенных моделей. В заключении резюмируются основные результаты работы.

Особенности управления в среде с противодействием и роль её цифрового двойника. В системах, функционирующих в среде с противодействием, все процессы привязаны к реальному времени и временные аспекты работы системы имеют решающее значение. В соответствии с моделью конкурентного взаимодействия двух систем, предложенной Дж. Бойдом (J. Boyd) [3], конкурирующие системы имеют стандартный замкнутый цикл функционирования, состоящий из четырёх фаз, а именно *наблюдение, ориентация, решение, действие*. На рис. 1 эти фазы названы *восприятие*, *оценка и прогноз ситуации, принятие решения*, *реализация решения (действий)*, соответственно. Эта модель, предложенная первоначально для моделирования и управления военными операциями, оказалась работоспособной и в абстрактном классе конкурентного взаимодействия систем. Эта модель принята также в данной работе.

В модели Бойда каждая из конкурирующих сторон должна структурировать своё поведение в соответствии с таким циклом, и каждая сторона для успешной работы должна отслеживать смену фаз цикла конкурента. Взаимодействие конкурирующих сторон происходит в реальном времени, поэтому каждая сторона с позиций процессов управления должна быть системой реального времени. Многочисленные исследования и практические применения модели Бойда показали, что в этой модели конкуренции преимущество получает та сторона, которая, наряду с качественными моделями оценки ситуации и принятия решений, затрачивает меньше времени на реализацию цикла и раньше реализует действия в соответствии с принятым решением.

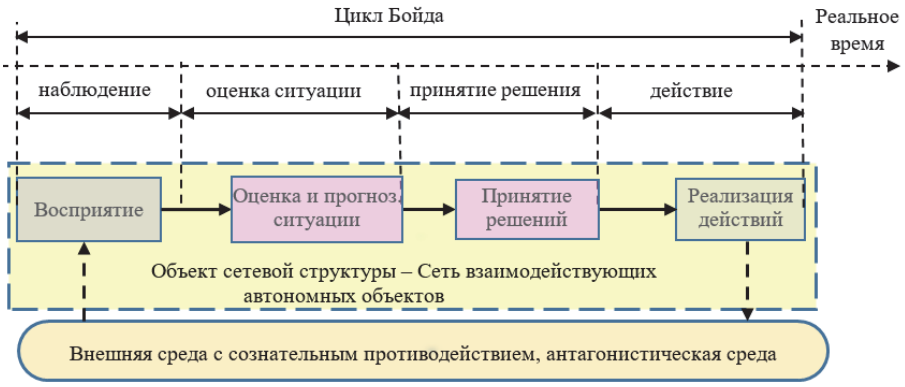


Рис. 1. Цикл Бойда в системе управления реального времени

Естественно, что для реализации стратегии Бойда каждая сторона должна иметь свою модель и средства отслеживания действий соперника, которая позволит ей прогнозировать фазы цикла Бойда соперника, выполнять прогноз его поведения, оценивать ситуацию с позиций достижимости собственных целей в контексте построенного прогноза (в рамках собственного цикла Бойда) и далее вырабатывать (корректировать) собственное решение и исполнять его. Описанный цикл работы системы управления сетевого объекта задаёт схему (мета модель)

управления в реальном времени, и он же определяет требования к составу информации о сопернике и к темпу её обновления.

В настоящее время модель соперничающей стороны принято называть её *цифровым двойником* (ЦД). Напомним, что в общем случае ЦД физического объекта, системы или процесса (англ. *digital twin – цифровой близнец*) – это некоторый набор его цифровых компьютерных моделей и реализующих их процессов и/или сервисов. ЦД некоторого объекта, системы или процесса является компьютерной программой, предназначенной для численного моделирования поведения этого объекта, системы или процесса для оценивания его текущего состояния и/или поведения и прогнозирования этих характеристик на некоторый горизонт будущего времени. Обычно информация от ЦД используется совместно с информацией, которую можно получить в те же или близкие моменты времени о реальном объекте, системе или процессе. Эта же информация обычно используется и для уточнения модели ЦД внешней среды по невязке его прогноза для некоторого момента времени и реального состояния объекта, системы или процесса, модель которого представлена ЦД. Коротко говоря, ЦД используется в контуре управления с настраиваемой моделью поведения внешней среды и соперника.

В рассматриваемом классе приложений ЦД прогнозирует поведение соперника и внешней среды в мета модели цикла Бойда, т.е. прогнозирует времена начала и окончания фаз цикла Бойда соперника и его поведение пределах фаз цикла. Далее эта информация в реальном времени используется сетевым объектом для оценки и прогнозирования ситуации и принятия им решения в собственном цикле Бойда. Таким образом, ЦД поведения соперника и внешней среды является неотъемлемой частью системы опережающего планирования и управления для систем реального времени в среде с противодействием [4, 5]. Рис. 2 иллюстрирует место ЦД внешней среды и поведения соперника при управлении в соответствии с циклом Бойда в конкурентной среде.

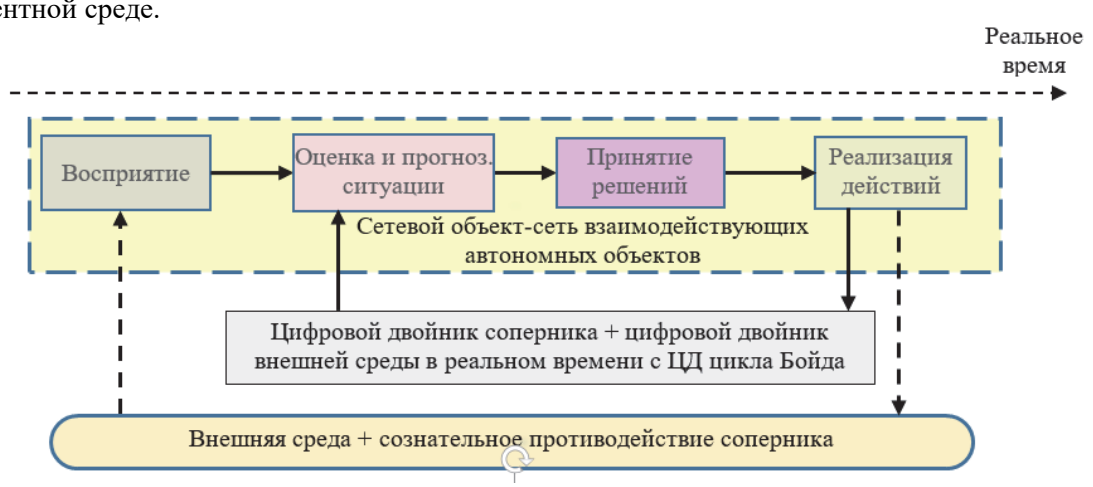


Рис. 2. Цикл Бойда в системе управления реального времени с цифровым двойником внешней среды и соперничающей стороны

В общем случае, математическая модель физического объекта, построенная для описанных выше целей, может быть расширена и другими моделями, например, моделями машинного обучения самого ЦД. Такой ЦД принято называть «умным цифровым двойником» (англ. *smart digital twin*).

Термин ЦД, вообще говоря, является метафорой, поскольку никакая цифровая программа не может описывать физический объект или протекающие в нём процессы исчерпывающим образом, и абсолютно точно копируя поведение объекта. По этой причине ЦД всегда лишь приближённо описывает реальный объект, и он никогда не описывает все его стороны, и потому не бывает «двойником» физического объекта в привычном понимании. В рассматриваемом классе приложений такая точность ЦД невозможная в принципе, поскольку внешняя среда является неопределённой, а информация о сопернике, доступная объекту, системе или процессу, всегда не полна, тем более для решения задач прогнозирования.

ЦД всегда строится для того, чтобы с его помощью можно было решать конкретный набор прикладных задач, который в идеале, при необходимости, может быть расширен пользовате-

лем. По этой причине обычно ЦД строится по модульному принципу, когда каждый виртуальный (цифровой) модуль решает одну или несколько прикладных задач из заданного множества, а множество этих модулей полностью покрывает заданное множество случаев использования ЦД. В такой цифровой модели каждая его отдельная компонента моделирует тот или иной аспект физического объекта, и при этом имеет понятную содержательную интерпретацию. Каждый такой прикладной модуль ЦД, отображающий тот или иной аспект физического объекта или процесса, принято называть цифровой тенью (англ. *digital shadow*) физического объекта или процесса, порождаемого им. Важно отметить, что в настоящее время существуют и другие, в некотором смысле альтернативные определения понятия цифровой тени.

Многоагентная аархитектура. Системы реального времени описываемого класса решают задачи управление целенаправленным групповым *поведением* взаимодействующего множества автономных объектов разной природы. Управление поведением в таких системах называется *групповым управлением*.

В настоящее время среди поведенческих моделей распределённых объектов ведущее место занимают многоагентные модели, архитектуры и многоагентные технологии их программной реализации. Первой *поведенческой* моделью агента и многоагентной системы была модель Р. Брукса (англ. *R.A. Brooks*), предложенная в работе [6]. В ней описана иерархическая архитектура реактивного агента (англ. s*ubsumption architecture*), которая задаёт множество вариантов его поведения («*паттернов* поведения») в зависимости от состояния внешней среды, информация о которой доступна системе. Однако эта архитектура оказалась непригодной для формализации группового поведения и группового управления ввиду слабых выразительных возможностей. В современных *поведенческих* системах, в отличие от их чисто реактивных предшественников, во-первых, рассматривают более сложные модели паттернов поведения, например, модели частично упорядоченных последовательностей действий, называемых сценариями, и, во-вторых, они используют модель конечного автомата с *внутренним состоянием* для учёта предыстории или текущего контекста процесса управления каждого агента и модель сети таких автоматов для описания поведения сети агентов.

Напомним, что *агентом* принято называть автономную компьютерную программу (систему), способную к целенаправленному поведению в динамической непредсказуемо изменяющейся внешней среде. В качестве ключевых свойств агента выделяются его *автономность* и способность к *целенаправленному* и *проактивному поведению*. *Автономность* агента понимается как его способность работать для достижения поставленной цели *без вмешательства* человека или других систем и при этом выполнять самоконтроль над своими действиями и внутренним состоянием. Способность к *проактивному* поведению означает, что при выборе поведения агент принимает во внимание не только информацию, полученную им из внешнего мира, но и предысторию собственных действий и состояний внешней среды, которые нашли отражение в его текущем внутреннем состоянии. Например, агент может генерировать сообщения и посылать их другим агентам даже при отсутствии входных событий. Например, он может генерировать сообщения по нарушению таймаута. Заметим, что способность агента к проактивному поведению есть главное отличие компьютерной программы, которую называют агентом, от программы, которую называют объектом в объектно-ориентированном программировании [7].

Многоагентная система (МАС) определяется как *сеть слабо связанных решателей частных проблем* (агентов), которые существуют в общей среде и взаимодействуют друг с другом для достижения тех или иных общих целей системы и/или частных целей отдельных агентов. Взаимодействие может выполняться агентами либо напрямую – путём *обмена сообщениями*, либо *косвенно*, когда одни агенты воспринимают присутствие других агентов через изменения во внешней среде, с которой они взаимодействуют. Обмен сообщениями, представленными на некотором языке, выполняется либо в форме диалогов, либо в форме протоколов. Способность к обмену сообщениями определяет ещё одно важное отличительное свойство агентов, которое называют *интерактивностью*. Интерактивность определяется как способность агентов оказывать то или иное влияние друг на друга, и именно в этом смысле сеть агентов в МАС называют «слабо связанной». «Из интерактивности и автономности вытекает способность группы агентов генерировать решение сложных задач с помощью побочных эффектов от совместных скоординированных действий» [8].

Как видно из описания свойств агента, его модель и модель МАС идеально подходят для формализации системы, состоящей их множества автономных объектов, координирующих своё групповое поведение. В концепции МАС каждому автономному объекту сети ставится в соответствие автономный программный агент. Этот агент, с одной стороны, управляет *внутренним поведением* программных и/или аппаратных компонент узла сети в различных случаях использования (при исполнении узлом сети агентов той или иной роли из числа возложенных на него). С другой стороны, этот агент является представителем своего узла во «внешнем мире», т.е. в сети программных агентов, где его главная функция – это взаимодействие с программными агентами других узлов сети путём обмена сообщениями с целью координация индивидуального поведения своего узла в различных задачах и подзадачах, которые решаются совместно некоторой группой узлов сети. Это поведение принято называть *внешним поведением* агента. Обычно внешнее поведение – это каким-то образом упорядоченная последовательность обмена сообщениями в форме диалогов пары агентов или протоколов.

Важно отметить, что в настоящее время в рассматриваемом классе приложений для модели и технологии МАС альтернатив просто нет, и это касается как моделей группового поведения и группового управления сети автономных агентов, так и модели цифрового двойника соперника и, возможно, остальной части внешней среды.

Если система распределённая, а это достаточно типичный случай, то обязательной компонентой такой сети является программно-коммуникационная среда, обычно называемая *цифровой платформой*, которая, прежде всего, играет роль инфраструктуры, которая преобразует множество отдельных узлов сети агентов в единую систему, в которой агенты могут взаимодействовать (обмениваться сообщениями) друг с другом. Инфраструктура может поддерживать и другие функции, и эти функции платформы (их обычно называют сервисами) доступные всем узлам (агентам) сети, могут быть разнообразными. В частности, в число сервисов инфраструктуры могут входить интерфейс доступа агентов сети к облачным ресурсам и сервисам, к информации внешних сенсорных сетей, т. е. сетей, которые не относятся непосредственно к сетевому объекту, например, к сетям гидрометеорологической службы и к её сервисам для получения текущих и прогнозных данных о погоде. Сервисы платформы могут включать в себя также функции создания, хранения и обеспечения доступа к распределённым данным и знаниям, представленным в сети, и выполнять другие функции. Один из вариантов построения такой инфраструктуры рассмотрен в [9].

Ситуация и оценка ситуации в цикле Бойда. В соответствии с *циклом Бойда* после сбора доступной информации о внешнем мире (такая информация всегда будет неточной, неполной и, возможно, противоречивой) задача системы состоит в том, чтобы оценить текущую ситуацию во внешней среде с противодействием, а также оценить ситуацию в собственной сети агентов и спронозировать ее развитие. В сложных поведенческих системах реального времени, оперирующих в среде с противодействием, понятие ситуации рассматривается как важнейшее понятие, которое является предметом специальных исследований. Эти исследования проводятся примерно с начала 1990-х годов применительно к области военных операций [10–13].

Существуют различные содержательные трактовки этого понятия, и они обычно даются в его сравнении с понятием состояния системы. В работах [10–13] ситуация определяется как некоторая динамическая характеристика сложной управляемой системы, находящейся во внешней среде, которая описывается с помощью модели того, что *происходил*о ранее, *происходит* в текущий момент времени и того, что *может* происходить в ней в будущем. Ситуация является динамической сущностью, которая описывается не только множеством текущих состояний распределённых объектов системы и объектов внешней среды, но, прежде всего, *множеством отношений*, заданных на них. В этом принципиальное отличие модели ситуации от модели состояния сложной системы.

Понятие ситуации предложено для интегрального описания процессов в системе и во внешнем мире с различных точек зрения, и прежде всего, с позиций которые, в свою очередь, характеризуют эти процессы с позиций достижимости ею поставленных целей. Множество возможных ситуаций в системе и во внешнем мире, оцениваемое с некоторой конкретной точки зрения, обычно *факторизуется*, так что эксперт оперирует качественными оценками ситуации с каждой точки зрения, т. е. с *классами ситуаций.* Например, для целенаправленной системы первостепенную важность имеет оценка ситуации в позиций достижимости поставленной цели

с учётом текущего её состояния, имеющихся ресурсов и действий конкурирующей стороны и её намерений (её прогнозируемых действий, например). С этой точки зрения всё множество ситуаций может быть разделено на четыре класса, а именно (1) цель *достижима*, (2) цель *недостижима*, (3) цель *перестала быть актуальной* и (4) *цель достигнута*. Могут использоваться также оценки ситуаций с позиций вскрытия намерений соперничающей стороны, с позиций оценки собственной работоспособности по результатам технической диагностики и имеющихся ресурсов, и т. п., однако все они в итоге далее используются для оценки достижимости групповой цели системы и соответствующей оптимизации своей стратегии будущего поведения.

Задача построения формальной модели ситуации, а также алгоритмов оценки текущей ситуации с разных точек зрения, которые совместно позволят системе оценить достижимость поставленной цели, а также построить конкретную стратегию её достижения – это одна из современных сложных задач группового управления поведением множества автономных объектов, объединённых в сеть. С другой стороны, она отвечает одной их фаз цикла Бойда, структурирующего поведение системы в контексте действий конкурирующей стороны. Модель ситуации и алгоритмы её оценки – это одна из актуальных задач сложных систем, которая в настоящее время является предметом активных исследований и разработок.

Принятие решений в цикле Бойда. Процесс принятия решений относится к третьей фазе цикла Бойда (рис. 1), и его суть – это поиск управления групповым поведением автономных объектов системы. Обычно г*рупповое поведение* понимается как структурированное множество индивидуальных поведений автономных объектов системы, скоординированных в интересах достижение групповой цели.

Формально модель целенаправленного группового поведения описывается с помощью двух компонент. Первая из них – это *сценарий действий* группы. Во многих случаях он задаётся в форме частично упорядоченного множества действий, которые группа автономных объектов должна выполнить, чтобы достигнуть своего целевого состояния. В этой компоненте не указываются конкретные исполнители действий, поскольку решение о назначении исполнителей может изменяться в процессе работы системы. Вторая компонента формальной модели группового поведения – это конкретное назначение *исполнителей действий* (объектов группы) сценария. Эта компонента является частью управляющего воздействия и может изменяться в процессе исполнения сценария действий. Сценарий действий с назначенными исполнителями называют *сценарием группового поведения.*

Сценарий действий обычно имеет иерархическую структуру, в которой на место действия может быть подставлен, в свою очередь, сценарий или паттерн поведения, или это действие может быть элементарным (неделимым). Другими словами, каждое действие сценария на любом уровне абстракции может быть, в свою очередь, представлено сценарием с иерархической структурой. Полагается, что элементарное действие должно выполняться одним объектом сети.

Формально модель сценария может быть описана следующим образом:

$$\boldsymbol{S} = \{\boldsymbol{X},\ >\}, \tag{1}$$

где $\boldsymbol{S}$ – идентификатор сценария, $\boldsymbol{X} = \{X_i\}_{i=1}^{N}$ – множество действий X_i сценария $\boldsymbol{S}$, $>$ – отношение порядка на множестве действий сценария, которое задаётся условием

$X_i > X_j$, *если действие* X_j *может выполняться только после завершения действия* X_i.

С учётом введённых определений и предположений, принятие решений в цикле Бойда для сетевого объекта рассматриваемого класса в начальный момент времени состоит из (1) формирования сценария достижения цели и (2) распределения задач сценария на множестве автономных объектов системы. Формально эти задачи хорошо известны из литературы как компоненты задачи планирования действий, и для её решения предложено достаточно много подходов, моделей и алгоритмов. Алгоритм опережающего планирования в реальном времени в контексте цикла Бойда предложен, например, в [4, 5].

В системе реальном времени, функционирующей в среде с противодействием, построенный план (сценарий группового поведения с конкретными исполнителями его действий) может потребоваться периодически корректировать в зависимости от поведения соперничающей стороны и динамики ситуации в самой системе и во внешнем мире. На практике в рассматрива-

емом классе приложений задача планирования действий должна решаться как задача управления с обратной связью, которую требуется решать периодически в зависимости от полученной оценки ситуации [4, 5]. В некоторых постановках данной задачи полагается, что сценарий действий задан жёстко, и тогда в зависимости от построенной оценки ситуации требуется пересчитывать только распределение автономных объектов сети на множестве действий сценария.

Таким образом, формальную постановку задачи принятия решений на третьей фазе цикла Бойда можно сформулировать следующим образом:

Дано:

1. Горизонт планирования $[T_0, T_k]$, где T_0 и T_k – (календарное) время начала и окончания исполнения группового сценария поведения, причём значение T_k может задавать самое позднее допустимое время окончания выполнения сценария групповой работы или в постановке задачи оно может быть не задано.
2. Сценарий действий группы (1), т.е. частично-упорядоченное множество действий $\boldsymbol{X}$, которое должно быть выполнено на заданном временном горизонте для достижения поставленной цели.
3. Множество автономных объектов, каждому из которых поставлен в соответствие список элементарных действий сценария, которые он способен выполнять и интервалы времени доступности объекта[1].
4. Опционально, множество специфических предметно ориентированных ограничений на использование автономных объектов на множестве действий сценария (например, по техническому состоянию, по погодным условиям и т.п.).
5. Показатель качества решения задачи планирования $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{P}(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{D}([T_0, T_k\,])))$, где $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{D}([T_0, T_k\,]))$ – искомое распределение множества автономных объектов сети $\boldsymbol{D}([T_0, T_k\,]) = \{D_j([T_0, T_k\,])\}_{j=1}^{M}$ на горизонте планирования $[T_0, T_k\,]$ по множеству действий $\boldsymbol{X} = \{X_i\}_{i=1}^{N}$ сценария.

Найти:

Распределение $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{D}([T_0, T_k\,]))$ автономных объектов на множестве действий сценария, с учётом всех наложенных ограничений, которое оптимизирует показатель качества управления $\boldsymbol{F}$.

На последней фазе цикла Бойда принятое решение исполняется. Эта компонента задачи группового поведения автономных объектов в значительной части является предметно зависимой и потому здесь не рассматривается. Основное требование к ней состоит в том, что исполнение действий на каждой фазе должно по возможности опережать действия противодействующей стороны в аналогичном цикле.

Данные, знания, единое семантическое пространство. Ядро системы оценки ситуации и принятия решений в описанном классе поведенческих систем формируют знания, причём в рассматриваемом классе приложений речь идёт о знаниях двух типов:

1. Знания, которые используются в ЦД (рис. 2). Это знания о сопернике и о внешней среде, которые позволяют оценивать текущую ситуацию во внешнем мире (во внешней среде с противодействовать) на основании полученных данных, оценивать цели и намерения соперника и прогнозировать его поведение на некотором горизонте будущего времени.

2. Знания, которые используются сетью автономных агентов для оценки ситуации в контексте достижимости своей собственной цели, а также для принятия решения по управлению собственным поведением (рис. 2). Напомним, что речь идёт о групповом управлении, которое включает в себя планирование сценария группового поведения и управление его исполнением.

Основные новые проблемы, касающиеся получения, представления и использования знаний в рассматриваемом классе приложений, обусловлены распределённым характером системы. Согласованная работа всех её распределённых автономных компонент – агентов сети возможна только в том случае, если все эти сущности оперируют в едином информационном пространстве, а для согласованной работы на уровне знаний необходимо чтобы это информационное пространство было организовано в соответствии с онтологией, общей для всех агентов.

Создание такого единого семантического пространства знаний и данных для объекта, состоящего из множества автономных распределённых сущностей, является актуальной задачей в области представления и интеграции знаний. Эта задача в настоящее время находится в процессе активного исследования и разработки. В соответствии с современными тенденциями наиболее перспективной представляется интегральная модель знаний, построенная с использованием концепции LPG-структур (от англ. *Labelled Property Graph*, *LPG*), которые реализуются в графовых системах управления базами данных (графовых СУБД). В настоящее время боль-

[1] В общем случае, объекты сети могут параллельно участвовать в исполнении нескольких сценариев и тогда интервалы доступности их для каждого сценария являются также аргументами задачи планирования.

шинство таких СУБД развивается в концепции программного обеспечения с открытым кодом, и потому это развитие идёт достаточно быстро и даже ускоряется. Упрощённо структура графовой базы данных с онтологией на метауровне может быть представлена так, как это показано на рис. 3. В графовой СУБД схема онтологии (метаданные) представляется графом с богатыми выразительными возможностями. Множество примеров – экземпляров понятий обычно представляется в NoSQL-структурах. Поиск ответов на запросы выполняется с помощью процедур поиска на графе, и эти процедуры могут быть реализованы эффективно, что очень важно для систем реального времени со сложно структурированными базами знаний.

Рис. 3. Формальная модель онтологии и её структура в графовых базах данных

На рис. 4 базы знаний и данных, формирующие единое информационное пространство объекта сетевой структуры и цифрового двойника внешнего мира в среде с противодействием, представлены в контексте задач, решаемых на различных этапах цикла Бойда.

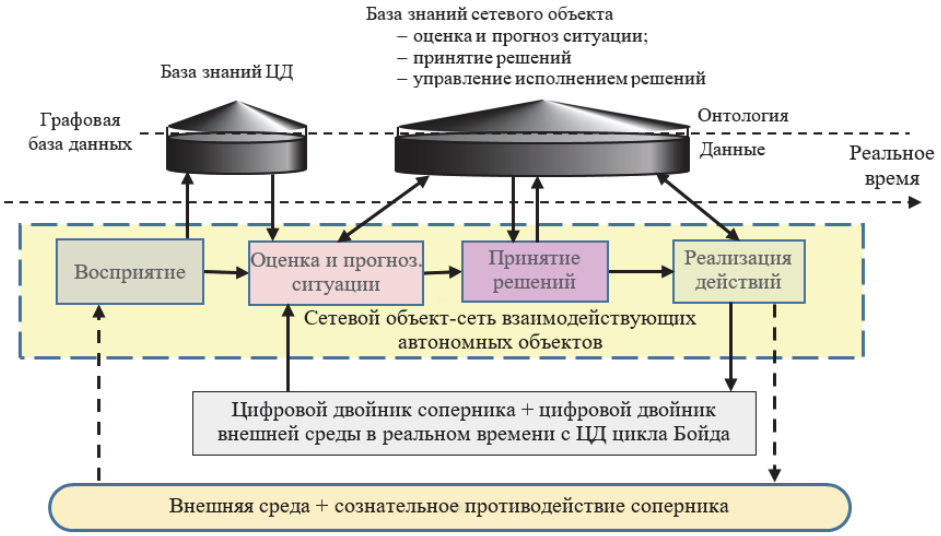


Рис. 4. Базы знаний и данных, формирующих единое информационное пространство объекта сетевой структуры и цифрового двойника внешнего мира в среде с противодействием

Обсуждение результатов. Из предыдущего материала можно видеть, что модель группового поведения и модель группового управления распределённым объектом сетевой структуры, функционирующего в среде с противодействием, имеет ряд особенностей, которые сильно отличают их от аналогичных моделей сетевого объекта, функционирующего в среде без противодействия. Если говорить кратко, то эти отличия и особенности состоят в следующем:

1. Фактор *реального времени* и темп реализации фаз управления в цикле Бойда являются ключевыми особенностями модели такого объекта. К реальному времени могут быть привязаны временные рамки исполнения сценария группового поведения в целом, а также плановые временные интервалы исполнения работ конкретными исполнителями. Эта привязка делает систему моделирования и управления очень чувствительной к нарушениям указанных времён в процессе исполнения сценария. Очевидно, что задержка любой работы вызовет лавинообразный сдвиг по времени допустимых времён начала всех последующих работ сценария, связанных с задержанной работой отношением следования во времени и их транзитивного замыкания в частично упорядоченном множестве действий сценария. В этих условиях накопленная задержка времени может сделать текущий план неработоспособным, а распределение исполнителей действий сценария потребуется пересчитывать.

Ещё более существенное влияние на поведение объекта может оказывать фактор противодействия. Этот фактор жёстко задаёт темп исполнения фаз восприятия и обработки информации для оценки ситуации, а также принятия решений и его исполнения в соответствии с циклом Бойда. Действительно, объект может надеяться достичь поставленной цели в условиях проти-

водействия только в том случае, если он тратит на цикл меньшее время, чем его соперник. Это означает, что в цикле Бойда моделирование и управление должно выполняться с помощью алгоритмов, которые готовы выдать итоговое решение в любой момент времени (англ. *anytime-алгоритм*), диктуемый, по сути, соперничающей стороной.

2. В контуре управления обязательно присутствие *цифрового двойника* соперничающей стороны. Состав атрибутов цифрового двойника, скорость и точность оценивания и прогнозирования их значений играют решающую роль для успешного достижения цели управляемого объекта.

3. В процессе управления относительно новой является задача *векторной оценки ситуации* (т. е. её оценки с различных точек зрения) в реальном времени, причём с заданным темпом обновления этой оценки и в контексте достижимости распределённым объектом управления целевого состояния.

4. Сценарий группового поведения автономных сущностей является динамическим понятием, и его обновление (обновление сценария действий и обновление назначений исполнителей действий сценария) может потребоваться на каждом новом цикле Бойда. По этой причине система управления должна располагать множеством возможных сценариев действий, для которых назначение исполнителей может проводиться только в реальном времени в зависимости о текущей ситуации и информации о соперничающей стороне. Можно утверждать в связи с этим, что прогресс в задачах группового управления поведением множества автономных сущностей будет связан с успехами в создании моделей сценарных баз знаний и механизмов рассуждений о поведении в них в интересах автоматизации процессов синтеза сценариев. Существующие модели опираются пока только на механизмы выбора сценариев из заданного их множества для конечного набора ситуаций [14, 15].

5. Модель сетевого объекта, работающего в среде с противодействием, а также модель цифрового двойника соперника требуют использования специфических формализмов. Некоторые особенности таких формализмов сформулированы в работах [1, 2]. Главная из них обусловлена тем, что заранее планировать сам сценарий действий и исполнителей его работ от начала и до конца в таких приложениях невозможно. При работе в среде противодействием постоянными могут быть только *намерения* управляемого объекта, т.е. как он собирается достичь желаемого конечного состояния. Но этого нельзя сказать о намерениях соперника, модель которого в контуре управления представляется его ЦД. Фактически сценарий группового поведения сетевого объекта управления должен формироваться динамически, с определением сценария групповых действий объектов на один или несколько шагов вперёд. В качестве возможной формальной модели динамического порождения сценария целенаправленного поведения в работах [1, 2] рассматривается модель атрибутной формальной грамматики. Однако модель, предложенная в этих работах, решает задачу динамического планирования для одиночного объекта и многошагового сценария, выполняемого им. В рассматриваемом случае эту задачу требуется решать в классе распределённых объектов, а потому такая модель нуждается в существенной переработке. В работе [16] для формализации таких моделей применён алгоритм, в основе которого лежит поиск на графах типа «*и – или*».

6. Специальная задача в рассматриваемой проблеме – это задача создания единого семантического пространства знаний и данных в условиях, когда все агенты могут работать со своими источниками данных. Для поддержания их «взаимопонимания» при исполнении сценария группового поведения все агенты команды должны использовать общий однозначно интерпретируемый понятийный базис, а также однозначную интерпретацию отношений, заданных на множестве этих понятий, то предъявляет особые требования к (распределённой) онтологии. Технологии создания такого единого семантического пространства пока далеки от совершенства.

Существуют и другие особенности моделей и потребной алгоритмической поддержки в системах рассмотренного класса. Например, динамика автономных объектов в условиях беспроводных коммуникаций может приводить к динамике и потере связности коммуникационной сети, поддерживающей обмен сообщениями между агентами, причём такие ситуации могут целенаправленно создаваться противодействующей стороной. Эти особенности подлежат изучению.

Заключение. В работе рассмотрены особенности и концептуальные основы моделирования группового поведения и управления в сложных системах, состоящих из большого числа автономных объектов разной природы, когда значительная часть этих объектов и компонент управ-

ления системы существует в виртуальной среде Интернет, которая в той или иной форме противодействует нормальному её функционированию. Системы и задачи подобного типа изучались ещё на начальной фазе развития сети Интернет и Интернет-технологий. Однако действительно актуальными они стали в настоящее время, когда Интернет-технологии обрели зрелость и стали технологиями массового использования.

Основное внимание в работе уделено описанию ключевых компонент и особенностей таких систем. По существу, множество приложений такого класса, а их число постоянно возрастает, формирует новый класс приложений, который пока слабо изучен. В работе, одна из целей которой состоит в том, чтобы привлечь к ней внимание исследователей, акцентировано внимание на тех проблемах, которые нужно решать в первую очередь.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Городецкий В.И. Котенко И.В**. Командная работа агентов-хакеров: применение многоагентной технологии для моделирования распределённых атак на компьютерные сети // КИИ-2002. VIII Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции. М.: Физматлит, 2002.
2. **Городецкий В.И., Котенко И.В**. Концептуальные основы стохастического моделирования в среде Интернет. Труды института системного анализа РАН. Т. 9: Фундаментальные основы информационных технологий и систем. Под ред. С.В.Емельянова. М.: URSS, 2005.
3. OODA loop/ https://en.wikipedia.org/wiki/OODA_loop (доступ 15.08.2020)
4. **Пантелеев М.Г.** Формальная модель опережающего интерактивного планирования действий интеллектуальных агентов реального времени //XIV национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 октября 2014 г., Казань, Россия): Труды конференции. В 3-т., Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014, Т.1, с. 323–333 (pdf).
5. **Panteleev M.G.** Advanced Iterative Action Planning for Intelligent Real-Time Agents. Procedia Computer Science, Volume 150, 2019, P. 244–252.
6. **Brooks R.A.** Intelligence without Reasoning // Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'91), 1991, vol. 1, P. 569–595.
7. **Odell J.** Objects and Agents Compared. Journal of Object Technology, vol. 1, no. 1, May-June 2002, pp. 41-53. http://www.jot.fm/issues/issue_2002_05/column4/ (доступ 15.08.2020)
8. **Ferber J.** Foreword. In Cossentino, M., Hilaire, V., Molesini, A., Seidita, V. (Eds.). Handbook on Agent-Oriented Design Processes. Springer. 2014. P. V–VI.
9. **Gorodetsky V., Larukchin V., Skobelev P.** Conceptual Model of Digital Platform for Enterprises of Industry 5.0. In I. Kotenko et al. (Eds.): Proceedings of the International Conference on Intelligent Distributed Computing (IDC 2019), Studies in Computational Intelligence, vol. 868, pp. 35–40, 2019.
10. **Lambert G.A**. Grand Challenges of Information Fusion // Proceedings of International Conference on Information Fusion, Cairns, Australia, 2003. P. 213–220.
11. **Steinberg A.N., Bowman C.L., White F.E.** Revisions to the JDL Data Fusion Model // A1AA Missile Sciences Conference of Naval Postgraduate School, CA, 1998.
12. **Fischer Y.** On Situation Modeling and Recognition. // Proceedings of the 2009 Joint Workshop of Fraunhofer IOSB and Institute for Anthropomatics, Vision and Fusion Laboratory. Ed.: J. Beyerer, 2009. P. 203–215.
13. **Городецкий В.И., Самойлов В.В., Троцкий Д.В.** Базовая онтология коллективного поведения и её расширения. Известия РАН «Теория и системы управления», Известия РА: Теория и системы управления. 2015, № 5, с. 102–121.
14. **Федунов Б.Е.** Интеллектуальные агенты в базах знаний бортовых оперативно-советующих экспертных системах типовых ситуаций функционирования антропоцентрического объекта. Известия РАН. Теория и системы управления. 2019, № 6, С. 90–102.
15. **Федунов Б.Е.** Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня для антропоцентрических объектов. М.: Де`Либри, 2018. 246 с.
16. **Городецкий В.И., Серебряков С.В., Троцкий Д.В.** Средства спецификации и инструментальной поддержки командного поведения автономных агентов. Известия Южного федерального университета, № 3, 2011, С. 116–133.

V.I. Gorodetsky, M.G. Panteleev (St. Petersburg Electro technical University “LETI”, St. Petersburg)

Networks of Autonomous Agents Operating in an Adversary Environment: Basic Features of the Conceptual Model

The paper analyzes conceptual model of a complex real-time system comprising the set of autonomous objects of diverse natures operating within an adversary Internet-environment. This is an important class of applications exemplified in economy, politics, computer network assurance and like. The model is analyzed in the context of J. Boyd’s control loop proposed specifically for adversary interacting system modeling and control. The paper formulates the tasks of the loop phases, justifies the use of multi-agent architecture for modeling the main system and a digital twin of adversary. It is also justifies the shared semantic space of data and knowledge as the core of the model in question.

И. С. НИКИФОРОВ
Компания ВСС, Санкт-Петербург

ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ КАПИТАЛОМ

Разработана концептуальная модель цифровой платформы управления человеческим капиталом на протяжении жизненного пути человека как многофункциональной рекомендательной интегрированной информационной системы, организующей единое информационное пространство эффективного взаимодействия физического, виртуального, биологического, социально-экономического и цифрового миров. Рассмотрены мультидисциплинарные аспекты методологии ее создания, исследованы назначения платформы, элементы структуры и архитектуры и место платформы в федеральных проектах и сквозных технологиях программы «Цифровая экономика».

Введение. Управление человеческим капиталом [1, 2] в условиях развития цифровой экономики [3], трансформации образования [4, 5], производства [6], бизнеса [7], рынков [8], становления общества 5.0 [9] является актуальной задачей. Под управлением понимается контроль (измерение и оценка) и формирование (принятие решения и его реализация) на протяжении жизненного пути человека (группы людей) и на всех этапах развития проблемно ориентированных цифровых экосистем, в которые включен работающий (в широком смысле) человек. Основные тенденции развития экономики [10], повышения значимости материальных активов [11], приводят к трансформации задачи автоматизации управления человеческим капиталом на построение системы управления результативностью [12, 13]. Предлагаемый доклад посвящен комплексному решению этих проблем с позиции платформенной экономики [14].

Объект исследования – управление человеческим капиталом в условиях развития цифровой экономики; предмет исследования – цифровая платформа управления человеческим капиталом (далее ЦП УЧК). Цель исследования – создание концептуальной модели, анализ и ее особенности, данных, структуры и архитектуры.

Концептуальная модель. ЦП УЧК – совокупность цифровых данных и моделей логики, инструментов и продуктов, программно-технических средств сбора, хранения, обработки и передачи данных и знаний, информационно и технологически интегрированных в рекомендательную интегрированную информационную систему, обеспечивающую управление человеческим капиталом с организацией взаимодействия заинтересованных субъектов. Концептуальная модель показана на рисунке.

ЦП УЧК организует единое пространство, обеспечивающее возможность эффективного взаимодействия физического, виртуального, биологического, социально-экономического и цифрового миров. Термин «пространство» используется в качестве фундаментального понятия, отражающего множественный характер существования миров и его неоднородность. Множество предметов, объектов, данных, обеспечивающих функционирование платформы, формирует в человеческом восприятии сложный, единый, пространственный образ мира, основанный на многомерном отношении к реальности и являющийся необходимым условием ориентации любой человеческой деятельности. Платформа рассматривает человека (индивида, личность, члена социума) в соответствии с возрастной периодизацией [15] и/или человека, и/или группу как субъект деятельности (в широком смысле). Свой жизненный путь человек проводит в организациях, являющихся элементами соответствующих экосистем. Организации и экосистемы выполняют функции внешней среды – надсистемы, по отношению к цифровой платформе, генерируя «задачи», решаемые платформой. Для решения этих задач на основе запросов платформа обменивается данными с человеком и организацией, затрачивая определенный ресурс [16] и формируют для них рекомендации, обеспечивающие эффективность их жизнедеятельности.

Рисунок. Концептуальная модель платформы управления человеческим капиталом

Все подсистемы платформы функционируют на основе законов миров, к которым они принадлежат; при этом ЦП УЧК является пересечением этих миров. Возможности платформы, реализованные на пересечении миров чрезвычайно широки. Например, на основе задачи, сформулированной образовательной экосистемой и на основе данных индивидуального профиля человека выбрать с помощью технологии искусственного интеллекта необходимый контент и доставить его любую географическую точку, в любой момент времени, любому пользователю. Также можно детализировать любую задачу HR, например, управление талантами.

Основания методологии. Научное обоснование, лежащее в основе методического обеспечения, связанного с созданием, функционированием и эволюционным развитием ЦП УЧК, базируется на междисциплинарном фундаменте системного анализа. Основными его составляющими являются системология, экономика, психология, физиология, социология, педагогика, инженерная психология, эргономика, математическое моделирование, психометрика и психодиагностика, мягкие измерения и вычисления, искусственный интеллект. Так как системообразующим фактором концептуальной модели платформы является понятие «жизнедеятельность», особое место занимает системология предметом которой являются общие законы развития сложных систем физической, биологической, социальной природы и системная психология [15], изучающая феномен жизнедеятельности биологического объекта с позиции системологии. Методическое обеспечение ЦП УЧК реализует системную концепцию работоспособности человека, позволяющую с единых научно теоретических позиций, в единой системной метрике учитывать особенности мотивационной сферы, профессиональных возможностей и функционального состояния человека.

Являясь гиперконвергентной рекомендательной системой, реализующей облачную технологию ЦП УЧК в соответствии с выполняемыми целями и решаемыми задачами, может выступать в роли интегрированной информационно-управляющей, киберфизической, социокиберфизической [17], социальной, экономической и мультиагентной системы.

Назначение (область применения) ЦП УЧК. Цифровая платформа предназначена для работы в образовательной, научно-производственной экосистемах и должна решать следующие задачи:

- при работе в образовательной экосистеме: создание интегрированной среды обучения; создание новых подходов к организации обучения (непрерывное обучение, обучение через опыт, адаптивное обучение, социальное обучение, перевернутое обучение, микрообучение,

геймификация, искусственный интеллект и применение интеллектуальных помощников, виртуальная и дополненная реальность (VR/AR); реализации новых обучающих решений; выполнение функции цифровой онлайн платформы управления обучением и знаниями; обеспечение анализа динамики процессов обучения и развития персонала; разработка и обеспечение реализации траектории развития; интеграция различных источников информации в структуру онтологии учебного процесса.

- при работе в научно-производственной экосистеме: построение сквозных процессов управления человеческим капиталом; управление развитием сотрудников с момента найма и на протяжении всей жизни в компании; принятие решений, основанных на данных сквозной аналитики; обеспечение связи процессов развития и карьерного продвижения сотрудников с результатами их оценки; управление всеми HR-процессами (подбор, адаптация, управление квалификацией, оценка KPI, оценка компетенций, карьера и развитие, мотивация) из одной системы.

В качестве отдельной задачи можно выделить формирование и поддержание работоспособности персонала, с учетом индивидуальных особенностей, на протяжении жизненного пути.

Элементы структуры и архитектуры ЦП. В структуру ЦП должны входить подсистемы и элементы, определяющие функционирование платформы, например, работа с данными, взаимодействие с пользователями и т.д. Ядром структуры платформы является подсистема, обеспечивающая решение задачи мониторинга-контроля и формирования индивидуальных траекторий объектов УЧК на основе сравнения индивидуальных цифровых паспортов с цифровыми эталонами в различных метриках, в зависимости от этапа жизненного пути человека. Анализ проблемной области показал необходимость точной формулировки понятий, характеризующих работу ядра структуры ЦП. Цифровой паспорт – электронный документ, содержащий структурированный набор характеристик, обеспечивающих максимально полную информацию о человеке, зафиксированную на протяжении его жизненного пути. Цифровой профиль – срез цифрового паспорта в конкретный момент времени. Цифровой двойник – виртуальная модель человека в конкретный момент его жизнедеятельности. Модель специалиста – цифровой профиль, соотнесенный со специальностью и должность человека (редуцированный профиль). Жизненный путь – хронологически упорядоченная последовательность событий (событийная модель); последовательность состояний и характеристик человека, изменяющихся в процессе его жизнедеятельности в соответствии с характером деятельности и событиями (мультитраекторная модель).

Платформа оперирует данными, характеризующими биологический объект; экосистемы, в которых он находится; и взаимодействии объекта и экосистемы. Данные о биологическом объекте извлекаются с помощью органов чувств, датчика, сенсоров на основе анализа цифрового следа или в результатах обследований в контрольных точках жизненной траектории. Примеры данных о человеке: знания, навыки, умения, компетенции, квалификация, личностные качества, профессионально важные качества, психологические и физиологические характеристики и др. Отличительные черты базы данных о биологическом объекте в платформе – объем, разнородность, полуструктурируемость или неструктурируемость, слабая взаимосвязь и др. Задача платформы – шкалирование и комплексирование потоков разнородной информации, отображение данных о биологическом объекте и данных, характеризующих экосистему в иерархическую систему показателей KPI – ключевые показатели результата, затрат, функционирования, производительности и эффективности [18] и BSC – сбалансированная система показателей [19], отражающих связи между стратегическим и операционным уровнями управления, прошлыми и будущим результатами, а также между внутренними и внешними аспектами деятельности предприятия.

При проектировании платформы используется концепция архитектуры предприятия [20], описывающая фундаментальные понятия и свойства системы, находящие выражение в ее составных элементах и их взаимоотношениях, а также принципах ее проектирования и развития. Архитектура – связующее звено между экосистемами и платформой.

В нашем случае архитектура представляет собой описание деятельности цифровой платформы и содержит домены – предметные области, которые отражают функциональную деятельность

организации: архитектура организационных процессов, информационных систем (архитектура данных, архитектура приложений) и техническая архитектура.

Архитектура организационных процессов представляет деятельность цифровой платформы. Архитектура информации описывает данные, которые используются в платформе в процессе ее функционирования. Архитектура приложений определяет алгоритмы и технологические решения, с помощью которых обрабатываются данные, участвующие в реализации организационных процессов. Технологическая архитектура содержит описание обеспечивающих информационных технологий, создающих рабочую среду для приложений, поддерживающих реализацию процессов.

Новые результаты.

1. Разработана концепция ЦП УЧК. Предложена концептуальная модель платформы как рекомендательной, интегрированной информационной системы, построенной на пересечении физического, виртуального, биологического, социально-экономического и цифрового миров и обеспечивающей их эффективное взаимодействие. Проведен анализ характеристик ЦП УЧК (научное обоснование, назначение и область применения, информационные потоки данных, элементы архитектуры и структуры).

2. Разработаны теоретические основы и принципы построения программно-аппаратных комплексов (ПАК), входящих в состав ЦП УЧК и обеспечивающих количественный учет человеческого фактора на всех этапах жизненного цикла. ПАК построен на принципах киберфизической системы, опирающейся на сквозные технологии: большие данные, интернет вещей, компоненты робототехники и сенсорики. Обобщенная модель ПАК, как специализированного класса технических систем, отличительными чертами которых являются: природа разнородных информационных потоков на входе ПАК, отражающих психофизиологическое состояние, качество и результативность деятельности, знания, умения, навыки, квалификацию и т. д. специалистов; структура ПАК, содержащая элементы измерительных, вычислительных и моделирующих систем; методы обработки разнородных потоков информации с последующим комплексированием в соответствии с конкретными целевыми функциями системы. Адаптивные свойства ПАК, направленные на учет индивидуальных особенностей специалистов. Основные принципы проектирования ПАК (системность, адаптивность, измеримость, совместимость и инвариантность). Метод и модель информационного процесса формирования оценок, обеспечивающие шкалирование разнородной информации и получение комплексной и интегральной оценок, как базы управления человеческим капиталом. Способ декомпозиции процесса информационных преобразований, позволяющий реализовывать гибкие структуры, инвариантные к специфике гипотез, лежащих в основе оценок состояния и качества деятельности. Взаимосогласованная система и математические определения характеристик процессов, сигналов, параметров, индексов и показателей, адаптивных к индивидуальным особенностям специалистов.

3. Модель управления человеческим капиталом (от уровня конкретного специалиста до уровня предприятия/организации) с учетом имеющего ресурса. Модель направлена на решение следующей задачи: эффективно распределить работников различной мультиатрибутивной квалификации по иерархически структурированным неоднородным рабочим местам с учетом возможных ограничений на расходуемые ресурсы. Численные значения атрибутов берутся из цифровой модели специалиста. Под цифровой моделью специалиста подразумевается цифровой профиль, соотнесенный со специальностью и/или должностью специалиста. Методы использования этой модели содержат инструменты искусственного интеллекта.

4. Оригинальная модель выявления латентных конструктов, построенная на методах кластерного анализа для выявления неочевидных связей между ситуациями, определяемыми воздействиями внешней среды и характеристиками задач, стоящих перед человеком, с фиксированным уровнем знаний, умений, навыков, квалификаций, компетенций, уровнем развития личностных качеств, индивидуальными способностями и возможностями. Модель также может применяться для автоматического поиска контента учебных курсов в процессе повышения квалификации.

5. Методика выбора обучающих технологий с учетом расхода ресурсов и личностных особенностей обучаемых.

6. Комплекс моделей развития специалиста, учитывающих его индивидуальные особенности и способности к освоению конкретных видов деятельности. Метод управления развитием специалиста, базирующийся на разработанных моделях, учитывающий мотивацию и величину вложенного внешнего ресурса.

7. Подсистема оценки соответствия персонала предъявляемым требованиям и прогнозирования его перспективности (в различных метриках), базирующаяся на разработанных моделях; оценочные и аттестационные мероприятия проводятся с использованием прокторинга – технологии для верификации и дистанционного контроля за корректностью мероприятия.

8. Методика предиктивного прогнозирования и формирования индивидуальной образовательной траектории (ИОТ) специалиста, используются данные от LAP (Learning Analytics Platform - платформа для анализа эффективности учебного процесса) по курсам, которые входят в унифицированные ИОТ.

Полученные результаты частично опубликованы [21, 22, 23] и будут рассмотрены в докладе.

Заключение. ЦП УЧК может быть использована для выполнения федеральных проектов «Информационная инфраструктура», «Кадры для цифровой экономики», «Цифровые технологии» и являться объектом внедрения сквозных технологий: «Искусственный интеллект», «Промышленный интернет», «Новые промышленный технологии», «Технологии виртуальной и дополненной реальности».

ЛИТЕРАТУРА

1. Shultz T. Human Capital in the International Encyclopedia of the Social Sciences. N.Y., 1968. vol. 6.
2. Becker, Gary S. Human Capital. N.Y.: Columbia University Press. 1964.
3. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. №1632-р.
4. Эрик Бриньолфсон. Образование нужно изобрести заново // РБК pro. URL: https://pro.rbc.ru/demo/5d1a20099a794768e9f857f6
5. Джош Берсин. Тренды цифрового обучения (Digital Learning): десять вещей, которые необходимо знать. URL: https://edwvb.blogspot.com/2018/01/trendy-cifrovogo-obucheniya-digital-learning-desyat-veshchej-kotorye-neobhodimo-znat.html. 2018.
6. Куприяновский В.П., Синягов С.А., Намиот Д.Е., Уткин Н.А., Николаев Д.Е., Добрынин А.П. Трансформация промышленности в цифровой экономике – проектирование и производство, International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 5, no. 1, 2017.
7. Джош Берсин. Переворот рынка HR технологий: 10 топ трендов 2018. URL: http://hr-inspire.ru/?p=3782
8. Шестакова И.Г. Человеческий капитал в цифровую эпоху. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. №1, 2018. Норвичский университет.
9. «Общество 5.0»: как мы будем жить в будущем. Интернет-ресурс: https://weekend.rambler.ru/read/38907531-obschestvo-5-0-kak-my-budem-zhit-v-buduschem/?updated
10. Гелисханов И.З., Юдина Т.Н., Бабкин А.В. Цифровые платформы в экономике: сущность, модели, тенденции развития. Научно-технические ведомости СПб ГПУ. Экономические науки. Том 11, № 6, 2018.
11. Мишустин М. Панельная дискуссия с участием представителей IT-индустрии. Республика Татарстан, Иннополис. 09 июня 2020 г. http://government.ru/news/39995/
12. Майкл Армстронг. Управление результативностью. Система оценки результатов в действии / М. Армстронг – «Альпина Диджитал», 2011. ISBN 978-5-9614-2643-4.
13. Майкл Армстронг, Анжела Бэрон. Управление результативностью. Издательство: Питер. 2008.
14. Эндрю Макафи, Эрик Бриньолфсон. Машина, платформа, толпа. Наше цифровое будущее. ISBN 978-5-00117-661-9. 2019.
15. Рыжов Б.Н. Системная психология. Изд-во: Издательские технологии. 2017. С. 356.
16. Иванова Т.Ю., Леонтьев Д.А., Осин Е.Н., Рассказова Е.Н., Кошелева Н.В. Современные проблемы изучения личностных ресурсов в профессиональной деятельности. Журнал Организационная психология. Том 8, №1. С. 85-121. 2018.
17. Смирнов А.В., Левашова Т.В. Модели поддержки принятия решений в социокиберфизических системах. Научный журнал Информационно-управляющие системы. 3(100)/2019.
18. Ключевой показатель эффективности (KPI). URL: https://www.audit-it.ru/terms/trud/kpi.html
19. Голубицкий Б.И., Васильев Д.Е Система сбалансированных показателей Каплана-Нортона: международный опыт для отечественных компаний. Российский внешнеэкономический вестник. №10 (октябрь) 2009.
20. Коршунов И.Л., Никифоров И.С. Архитектура предприятия. Учебное пособие / Санкт-Петербург, 2018. 106 с.
21. Никифоров И.С. Интеллектуальная поддержка специализации. Научно-практический журнал "Системная психология и социология". 2020. № 1(33). С. 74-84.
22. Падерно П.И., Никифоров И.С. Профессии, профессионально важные и личностные качества (модели и взаимосвязи). Журнал «Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ"» No 4/2019, с. 64-69.

23. Никифоров И.С. Проблемы управления профессиональной траекторией. XXV Международная научно-методическая конференция «Современное образование: содержание, технологии, качество». Сборник трудов. 2019, с. 490-492.

I.S. Nikiforov (BCC Company, St. Petersburg)

Elements of a Methodology for Creating a Digital Platform for Human Capital Management

A conceptual model of a digital platform for managing human capital throughout a person's life has been developed as a multifunctional advisory integrated information system that organizes a single information space for effective interaction of the physical, virtual, biological, socio-economic and digital worlds. The multidisciplinary aspects of the methodology of its creation are considered, the purpose of the platform, elements of structure and architecture and the place of the platform in federal projects and end-to-end technologies of the Digital Economy program are investigated.

В. М. ГРИНЯК, Ю. С. ИВАНЕНКО, А. В. ШУЛЕНИНА
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток

ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТОВ СУДОВ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИЙ

Статья посвящена проблеме обеспечения безопасности движения судов на морских акваториях. В условиях насыщенного трафика безопасность движения судов может быть обеспечена только при соблюдении ими определённой схемы движения. В работе ставится задача планирования маршрутов судов через акватории с интенсивным движением. В основу модели задачи положен поиск кратчайшего пути на взвешенном графе. Вес рёбер предлагается задавать с учётом кластеризации курсов. Это позволяет реализовать идею планирования маршрута с учётом информации о характере движения на том или ином участке акватории. Работа сопровождается результатами расчётов на реальных данных о движении судов в Сангарском проливе.

Введение. Классические представления о безопасном движении судов включают в себя три задачи, решаемые судоводителями и операторами береговых служб: оценку риска опасного сближения, предупреждение опасного сближения и планирование траектории безопасного движения [1]. Одним из элементов организации движения в районах интенсивного судоходства является система установления путей движения судов [2], [3], представляющая собой набор ограничений, накладываемых определённой схемой движения судов («правилами движения»), принятой на конкретной акватории. Суда, нарушающие правила движения на акватории, с точки зрения классических представлений могут не представлять опасности в настоящий момент, однако способны привести к трудноразрешимой опасной навигационной ситуации через некоторое время.

При плавании на большие расстояния три классические задачи дополняются планированием маршрута перехода судна, цель которого – оптимизация движения, например, плавание по кратчайшему из возможных путей, за кратчайшее время, с минимальным расходом топлива и т. п. [4], [5]. При движении через акватории с установленными путями планирование маршрута перехода судна следует осуществлять с учётом заданных ограничений. Перспективным путём идентификации этих ограничений является выделение устоявшихся, выработанных эксплуатационной практикой паттернов движения конкретной морской акватории из ретроспективной информации о её трафике. Модельные представления такой задачи могут быть сформулированы на основе идеи о кластеризации параметров движения судов.

В настоящей работе рассматривается задача планирования маршрута перехода судна через акватории с интенсивным движением; задача представляется актуальной в свете перспективного развития беспилотных морских транспортных средств. Предлагается ввести функцию «желательности» того или иного курса судна для каждой точки акватории с учётом выявленных паттернов движения. С учётом этой информации строится взвешенный граф возможных маршрутов судна. Планирование маршрута судна сводится, таким образом, к поиску кратчайшего пути на графе. Предлагаемый доклад посвящён оценке возможности решения замкнутой задачи идентификации паттернов движения и планирования маршрутов судов таким способом.

Модельные представления задачи. Планирование маршрута судна через акваторию с интенсивным движением включает в себя следующие этапы:

1. Разбиение участка водной поверхности вершинами графа.
2. Определение множества рёбер графа.
3. Оценка веса рёбер графа.
4. Поиск кратчайшего пути на графе.

Разбиение вершинами графа. Рассмотрим систему координат *xy*, где ось абсцисс *x* соответствует географической долготе, а ось ординат *y* – географической широте судна. Введём множество из N точек p_i с координатами x_i, y_i. При этом одна из точек – p_1 – соответствует точке начала движения судна, и одна из точек – p_N – конечной точке маршрута. Пусть множество возможных маршрутов судна лежит на плоскости *xy* внутри квадрата со стороной, равной длине отрезка с вершинами в начальной и конечной точках маршрута (p_1 и p_N соответствен-

но). При этом точка p_1 лежит в середине стороны квадрата, а точка p_N – в середине противоположной стороны (то есть отрезок $p_1 p_N$ делит квадрат пополам). Заполним этот квадрат точками так, чтобы они образовывали правильную прямоугольную сетку. Пусть n – число точек, разбивающих при этом отрезок $p_1 p_N$, а m – число рядов точек справа и слева от этого отрезка.

Определение множества рёбер графа. В рассматриваемой задаче предлагается прибегнуть к хорошо зарекомендовавшему себя подходу «послойного» формирования рёбер [6], [7], учитывающему судоводительскую специфику. Назовём вершины графа, лежащие на отрезках, перпендикулярных отрезку $p_1 p_N$ слоями вершин. Положим, что при движении судна возможны переходы только от одного слоя вершин к следующему ближайшему слою, а движения между вершинами одного слоя или между вершинами далеко отстоящих слоёв запрещены. Рис. 1 иллюстрирует идею формирования графа: имеется n слоёв по $m + 1$ вершин в каждом, а также вершины начала и конца. Целесообразно также ограничить максимальную длину ребра. Конкретные значения n, m и максимальной длины ребра определяются исходя из специфики конкретной акватории.

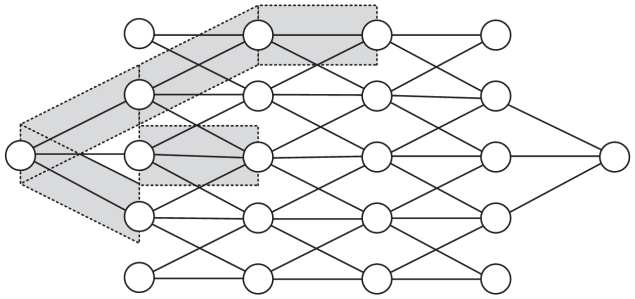


Рис. 1. Идея формирования графа возможных маршрутов судна

Оценка веса рёбер графа. Коллективное движение судов как правило характеризуется типичными (рекомендуемыми и/или реализуемыми) значениями курса и скорости на тех или иных участках акватории [8], [9]. Для описания схемы движения на акватории удобно использовать модельные представления кластеризации [10]: выделяются объекты с «самыми типичными» характеристиками, принимаемые за центры кластеров; остальные объекты относят к соответствующим подмножествам, если они «похожи» на выделенные центры. Для решения задачи кластеризации такого типа хорошо зарекомендовал себя алгоритм субтрактивной кластеризации, не требующий задания количества кластеров [11]. Центральным элементом кластеризации является определение метрики расстояния между объектами. Данные о движении судов представляют собой множество кортежей величин *LON*, *LAT*, *SPEED*, *COURSE* – соответственно долгота, широта, скорость и курс. В описываемой задаче целесообразно прибегнуть к декомпозиции: разбить акваторию на участки и осуществлять кластеризацию для каждого из участков отдельно, считая, что признаками объектов являются только курсы. Такое представление вполне соотносится с практической отраслевой спецификой.

Пусть имеются данные о движении судов за некоторый период времени. Пусть в области, соответствующей тому или иному ребру графа рис. 1 (серый четырёхугольник вокруг ребра) имеется множество судов и имеется матрица расстояний D_{ij}, задающая степень близости между объектами с индексами i и j. Метрика расстояния между объектами с индексами i и j задается как $D_{ij} = \sqrt{(COURSE_i - COURSE_j)^2}$ (разность курсов доопределяется с учётом периодичности значений угла). Путём субтрактивной кластеризации находятся курсы судов, характерные для выбранной области (центры и размеры кластеров). Введём функцию «желательности» того или иного курса судна следующим образом. Если курс, соответствующий направлению движения по ребру графа, соответствует найденным кластерам, то такое движение считается «желательным» (функция «желательности» принимается равной 1), в противном случае движение «нежелательно» (функция «желательности» равна 0.01). Вес ребра считается

равным его длине, делённой на функцию желательности. В том случае, если одна из вершин либо часть инцидентного им ребра попадает на запрещённый участок (например, на сушу), вес ребра принимается равным бесконечности. Если в рассматриваемой области кластеризация объектов невозможна (например, слишком мало данных), она считается областью с нерегулируемым движением и функция желательности принимается равной 0.1. Таким образом, рёбра, соответствующие паттернам движения на акватории, получают наименьший вес.

Поиск кратчайшего пути на графе. Поиск кратчайшего пути от вершины p_1 до вершины p_N может быть проведён любым известным алгоритмом общего назначения (Дейкстры, Беллмана–Форда и др.). Выбор значений m и n во многом зависит от географических особенностей района и масштаба неоднородностей данных о движении судов. При этом следует иметь в виду, что сложность наиболее эффективных алгоритмов поиска пути на графах пропорциональна числу рёбер и числу вершин (или их логарифму) [12] и нужно ограничивать значения m и n так, чтобы время решения задачи оставалось приемлемым для практики.

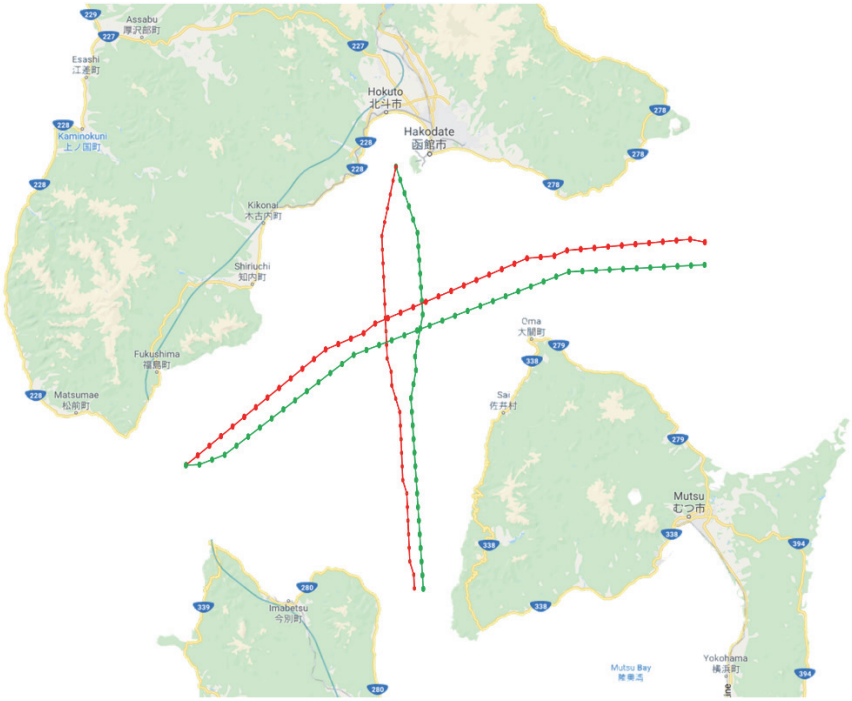


Рис. 2. Результаты планирования маршрута судна в Сангарском проливе

Результаты исследований. Исследование проводилось на реальных данных о движении судов, собранных с ресурса [13] с помощью специально разработанной программной системы [14]. Приведён пример решения задачи для Сангарского пролива. Были взяты данные о движении в течение одной недели, всего около 1.5 млн записей. Использовался стандартный метод субтрактивной кластеризации. Значения параметров метода подбирались таким образом, чтобы корректно идентифицировать кластеры эталонной выборки. В результате характерный радиус кластера курсов судов был определён равным 16°; курсы считались принадлежащими кластеру, если они лежали ближе, чем в 20° от его центра (1.25·16°). Итерационная процедура поиска центров кластеров заканчивалась, если потенциал очередного кластера не превышал 10% потенциала первого кластера – оставшиеся кластеры считались не значимыми.

На рис. 2 линиями показаны результаты планирования маршрутов: Тихий океан – Японское море (восток – запад) и порт Хакодате – залив Муцу (север – юг, красные линии) и обратно (зелёные линии). Видно, что найденные маршруты полностью соответствуют направлению движения реальных судопотоков, в частности принимают «правильную» сторону движения (в судовождении принято правостороннее движение).

Заключение. С развитием технологий и сервисов Автоматической идентификационной системы, концепции е-навигации [15] и технологий облачных вычислений у исследователей

появилась возможность работать с большими массивами данных о реальном движении судов. Это обусловило обращение к моделям безопасности коллективного движения групп судов и на акватории в целом с выделением задач распознавания, классификации, кластеризации и прогнозирования, т.е. задач «больших данных». В настоящей работе предлагается метод решения задачи планирования маршрутов судов при их движении через акватории с насыщенным судопотоком, основанный на кластеризации курсов. Задача решается следующим образом:

1. Формирование базы ретроспективных данных о движении судов на выбранном участке акватории.
2. Формирование графа возможных маршрутов судна.
3. Оценка характерных значений курсов судов на определённых участках акватории.
4. Оценка веса рёбер графа возможных маршрутов судна, поиск кратчайшего пути на графе.

Исследования, проведённые на данных трафика реальных акваторий, подтвердили применимость предложенного метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tam Ch. K., Bucknall R., Greig A. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters. *Journal of Navigation*. 2009. Vol. 62. №3. P. 455–476.
2. **Лентарёв А.А.** Морские районы систем обеспечения безопасности мореплавания: учебное пособие. Владивосток: Морской государственный университет, 2004. 114 с.
3. **Лентарёв А.А.** Основы теории управления движением судов. Владивосток: Морской государственный университет, 2018. 181 с.
4. Wang H., Li X., Li P., Veremey E., Sotnikova M. Application of real-coded genetic algorithm in ship weather routing. *Journal of Navigation*. 2018. Vol. 71. №4. P. 989-1010.
5. **Сотникова М.В**. Алгоритмы формирования маршрутов движения судов с учетом прогноза погодных условий. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления.* 2009. №2. С. 181-196.
6. **Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Акмайкин Д.А**. Планирование оптимального маршрута судна с учётом спутниковых метеоданных. *Информационно-измерительные и управляющие системы.* 2018. №10. С. 4-10.
7. **Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Акмайкин Д.А**. Планирование маршрутов судов с учётом опасности морского волнения. *Транспорт: наука, техника, управление.* 2018. №12. С. 10-16.
8. **Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Люлько В.И**. Оценка опасности трафика морской акватории по данным Автоматической идентификационной системы. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. 2017. №4. С. 681–690.
9. **Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Шуленина А.В**. Оценка эмоциональной нагрузки на судоводителей в условиях коллективного движения. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова.* 2019. Т.11. №4. С. 640-651.
10. **Zhen R., Jin Y., Hu Q., Shao Zh., Nikitakos N**. Maritime anomaly detection within coastal waters based on vessel trajectory clustering and naïve Bayes classifier. *Journal of Navigation*. 2017. Vol. 70. №3. P. 648-670.
11. **Bishop C.M.** Pattern recognition and machine learning. New York: Springer Science Business Media, 2006. 738p.
12. **Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А.** Графы в программировании: визуализация и применение. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 1104 с.
13. MarineTraffic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.marinetraffic.com (дата обращения: 01.08.2020).
14. **Головченко Б.С., Гриняк В.М**. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова.* 2014. №2. С. 156–162.
15. **Титов А.В., Баракат Л., Хаизаран А**. Состояние и перспективы реализации технологии е-навигации. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова.* 2019. Т.11. №4. С. 621-630.

V.M. Grinyak, Yu.S. Ivanenko, A.V. Shulenina (Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok)

Ship Routes Planning Based on Traffic Clustering

This work is about navigation safety of marine traffic at sea areas. In addition to traditional approach of danger situation detection based on vessels approaching, the current paper introduces another metrics derived from kinematic parameters of the vessel itself, to identify whether it follows patterns (rules) of the traffic at a certain sea area. Authors focused their efforts on analyzing existing traffic schemas in order to identify its danger level in general rather than scrutinizing on individual cases. Along with the traditional approach of sea traffic schema identifications, proposed original method of automated identification of sea traffic schemes based on clustering of movement parameters using historical AIS data. For the clustering decomposition Subtraction clustering algorithms were considered. The historical AIS data of sea traffic at Tsugaru strait is used for identifying traffic schema and ship routes planning with the model designed under presented research.

М. М. ФОЗИЛОВ, Т. Б. ЧИСТЯКОВА, А. Н. ПОЛОСИН
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург)

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРУДЕРАМИ В МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

Описана система поддержки принятия решений, помогающая операторам решать задачу ресурсосберегающего управления экструдерами различных типов, применяемыми в производствах многоассортиментных упаковочных полимерных пленок. Она включает подсистему интеллектуального анализа промышленных данных для прогнозирования состояния экструдеров и качества пленки, подсистему оценки работоспособности экструдеров.

Введение. Современные системы управления технологическими процессами, в том числе системы ресурсосберегающего управления, решают задачи управления в основном на основе информации о параметрах состояния технологического процесса. Однако в производственных системах, в которых используется конструктивно сложное дорогостоящее и часто перенастраиваемое технологическое оборудование, ключевую роль играет состояние этого оборудования, которое во многом определяет производительность процесса и качество выпускаемой продукции. Примерами таких систем являются многоассортиментные крупнотоннажные (~1000 кг/ч) непрерывные экструзионные и экстузионно-каландровые производства одно- и многослойных полимерных пленок (ПП), применяемых для упаковки пищевых продуктов и фармацевтических препаратов. Перенастройка производственных линий на различные типы ПП, отличающиеся числом и типами материалов барьерных и структурных слоев, толщиной, шириной, цветом, и производительность происходит в среднем 30 раз в месяц (диапазон времен выполнения заказов в зависимости от их объема составляет от нескольких часов до нескольких суток). Многоассортиментный характер производства определяет необходимость применения для плавления, нагрева, перемешивания и предварительного формования полимерных композиций экструдеров различных типов: одношнековых (шнек которых только вращается), осциллирующих (шнек которых одновременно с вращением совершает осевое возвратно-поступательное движение), двухшнековых (шнеки которых вращаются в одну сторону или навстречу друг другу и находятся во взаимном зацеплении). В процессе эксплуатации происходит естественный износ экструзионного оборудования, что требует проведения периодической чистки и профилактического ремонта для поддержания оборудования в рабочем состоянии. Однако досрочная остановка линии для чистки или ремонта приводит к уменьшению объема производимой ПП и, как следствие, к задержке сроков выполнения заказов. Просроченная чистка или ремонт экструдеров приводит к получению большого количества некондиционной ПП и брака (например, к появлению на поверхности ПП черных точек, желто-коричневых деструкционных полос, включений нерасплавленного полимера, геликов). Поэтому своевременная диагностика состояния и техническое обслуживание экструзионного оборудования позволяют сократить время простоев производственных линий (одни сутки простоя одной линии приносят около 3 млн руб. убытков из-за непроизведенной ПП массой ~24000 кг), снизить себестоимость выпускаемой продукции и, кроме того, предотвратить появление более серьезных неисправностей (например, отказ редуктора привода шнека или блока упорных подшипников), требующих проведения длительного и дорогостоящего ремонта. Таким образом, актуальной для производств ПП задачей является разработка эффективного компьютерного инструмента поддержки принятия решений операторов по управлению экструдерами с учетом их фактического состояния, что позволяет сократить время принятия управленческих решений, увеличить временные периоды между остановками оборудования, повысить производительность и уменьшить невозвратные отходы.

В связи с этим предлагаемый доклад посвящен разработке перенастраиваемой на характеристики производства ПП системы поддержки принятия решений (СППР), которая позволяет на основе методов интеллектуального анализа больших промышленных данных и математических моделей (ММ) для оценки неконтролируемых на производстве параметров, характеризующих работоспособность экструзионного оборудования, решать задачу ресурсосберегающего управления экструдерами различных типов в многоассортиментных производствах ПП.

Постановка задачи ресурсосберегающего управления экструдерами. Архитектура СППР. Информационное описание процесса экструзии как объекта управления представляется в виде совокупности векторов входных параметров $X(t)$, управляющих воздействий $U(t)$ и выходных параметров $Y(t)$: $Y(t)=\Phi(X(t),U(t))$, $t\in[t_0;t_K]$. Вектор входных параметров $X(t)$ = { $T_{film}(t)$ – тип ПП; $M_{extj}(t)$ – марка j-го экструдера, определяемая типом экструдера, диаметром и относительной длиной его шнека, j = 1, …, $n_{ext}(t)$; $n_{ext}(t)$ – число экструдеров, применяемых на стадии подготовки экструдата (определяется числом слоев производимой ПП); $U_{0j}(t)$, $U_j(t)$ – номинальное и текущее напряжение на электродвигателе привода шнека j-го экструдера, В; $S_{0j}(t)$, $N_{sj}(t)$ – номинальное скольжение и синхронная частота вращения (мин$^{-1}$) ротора электродвигателя; $k_j(t)$ – коэффициент загрузки электродвигателя; $\tau_0(t)$ – срок службы изоляции электродвигателя при номинальном напряжении и нагрузке, ч; $n_{fj}(t)$ – число отказов j-го экструдера; $\tau_{jl}(t)$ – время нормальной работы j-го экструдера между (l–1)-м и l-м отказами (наработка между отказами), ч; $v_{mdj}(t)$ – скорость вибрации корпуса привода экструдера, мм/с}. Вектор управляющих воздействий $U(t)$ = { $N_j(t)$ – частота вращения шнека j-го экструдера, мин$^{-1}$; $T_{bjk}(t)$ – температура корпуса в k-й тепловой зоне, °С; $n_{Tj}(t)$ – число тепловых зон корпуса; $T_{djq}(t)$ – температура экструзионной головки в q-й тепловой зоне, °С; $n_{dj}(t)$ – число тепловых зон головки}. Вектор выходных параметров $Y(t)$ = { $G_j(t)$ – производительность j-го экструдера, кг/ч; $T_{ej}(t)$ – температура экструдата, °С; $Q_{film}(t)$ – вектор показателей качества (потребительских характеристик) ПП (число черных точек, деструкционных полос, включений нерасплавленного полимера, геликов на заданной площади полотна ПП); $P_j(t)$ – вероятность безотказной работы j-го экструдера; $\tau_j(t)$ – срок службы изоляции электродвигателя при текущем напряжении и нагрузке, ч; $h_j(t)$ – количество гармоник в сигнале о вибрации}.

На основе информационного описания сформулирована задача ресурсосберегающего управления экструзионным оборудованием, заключающаяся в следующем:
для заданных входных параметров $X(t)$ варьированием управляющих воздействий в регламентных диапазонах $U(t)\in\left\lfloor U^{\min}(t);U^{\max}(t)\right\rfloor$ определить их значения $U^*(t)$, обеспечивающие максимальную производительность экструзионной линии и заданное качество поверхности ПП

$$G\left(X(t),U^*(t)\right)=\max_{\mathrm{var}\,U(t)\in\left[U^{\min}(t);U^{\max}(t)\right]}G\left(X(t),U(t)\right),\ Q_{film}\left(X(t),U^*(t)\right)\le {Q_{film}}^{\max}(t) \qquad (1)$$

при условии обеспечения требуемых параметров работоспособности экструдеров

$$P_j(t)\ge P^{\min}(t),\ \tau_j(t)\ge\tau_0(t), \qquad (2)$$

где: $G(t)=\sum_{j=1}^{j=n_{ext}(t)}G_j(t)$; ${Q_{film}}^{\max}(t)$ – вектор предельно допустимых (для заданного типа ПП) значений числа поверхностных дефектов ПП различных видов; $P^{\min}(t)$ – минимально допустимая вероятность безотказной работы экструдеров.

Для решения поставленной задачи разработана СППР, которая включает следующие компоненты: подсистему интеллектуального анализа промышленных данных; подсистему оценки работоспособности экструзионного оборудования; информационную подсистему; подсистему визуализации контролируемых и рассчитываемых данных; модуль редактирования баз данных; интерфейсы лица, принимающего решение (оператора экструдера) и администратора.

Подсистема интеллектуального анализа промышленных данных позволяет прогнозировать производительность экструдеров, температуру экструдата, параметры состояния экструзионного оборудования и показатели качества ПП. Для прогнозирования используется такие методы интеллектуального анализа данных, как метод главных компонентов и множественная линейная регрессия. Для определения типов поверхностных дефектов ПП (черные точки, гелики и

др.) и числа дефектов каждого типа реализован модуль цифровой обработки изображений ПП на созданном кроссплатформенном языке программирования ImageScript [1].

Подсистема оценки работоспособности экструзионного оборудования содержит библиотеку ММ для расчета вероятностей безотказной работы и отказов экструдера, срока службы изоляции электродвигателей экструдеров в зависимости от отклонения напряжения и спектрального анализа сигналов о вибрациях экструдеров.

Модуль мониторинга вибрации экструдера позволяет предупредить оператора о возникновении в подшипниках электродвигателя экструдера трещин или поломке зубчатых колес, что помогает предотвратить возникновение более серьезных проблем в электродвигателе. Своевременное получение информации о состоянии электродвигателя экструдера позволяет свести к минимуму время простоя экструдера, а также стоимость ремонта. Для спектрального анализа сигналов о вибрациях в СППР используется быстрое преобразование Фурье [2, 3]. Оно позволяет преобразовать входной сигнал $f[n]$, $n = 0, \ldots, N-1$ в спектр соответствующего сигнала:

$$F[k] = \sum_{n=0}^{N-1} f[n] \exp\left(-i2\pi k \frac{n}{N}\right), \; k = 0, ..., N-1, \tag{3}$$

где: $N = 2^m$, $m = 0, ..., N-1$ – количество значений сигнала, измеренных за заданный период времени; k – частота k-го сигнала.

Информационная подсистема, взаимодействующая с подсистемой интеллектуального анализа и подсистемой моделирования, включает базу данных характеристик типов ПП и марок экструдеров, базу статистических данных по отказам экструдеров, базу данных контролируемых технологических параметров процесса экструзии и показателей качества ПП, базу данных контролируемых и рассчитываемых параметров состояния экструдеров.

Подсистема визуализации данных позволяет строить тренды технологических параметров процесса экструзии, параметров состояния экструзионного оборудования и показателей качества ПП за заданный интервал времени, отображать вычисленные значения характеристик работоспособности экструдеров.

Тестирование работы СППР выполнено по данным стадии подготовки экструдата промышленного экструзионно-каландрового производства однослойной плоской жесткой ПП на основе поливинилхлорида для упаковки лекарственных средств за месяц производства на заводе в России и промышленного экструзионного производства многослойной рукавной гибкой ПП на основе полиэтилена низкой плотности для упаковки мяса и мясных продуктов за неделю производства (2,49 млн. числовых значений для 418 контролируемых технологических параметров процесса соэкструзии на 11 одношнековых экструдерах, подключенных к формующей головке) на заводе в Германии.

Заключение. Разработана гибкая проблемно-ориентированная СППР для ресурсосберегающего управления экструдерами различных типов в многоассортиментных производствах ПП, ядром которой являются подсистема интеллектуального анализа больших промышленных данных и подсистема оценки характеристик работоспособности экструзионного оборудования. Результаты тестирования по данным промышленных производств на заводах в России и Германии подтвердили работоспособность СППР и возможность ее использования в качестве эффективного компьютерного инструмента для ресурсосберегающего управления экструдерами.

Работа проводилась при поддержке гранта Германской службы академических обменов DAAD (Стипендиальная программа им. Л. Эйлера для молодых российских ученых)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фозилов М.М., Чистякова Т.Б., Полосин А.Н.** Программный комплекс для цифровой обработки изображений полимерных пленок с помощью кроссплатформенного языка ImageScript. *Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук*. 2018. № 3. С. 28–35.
2. **Kumar V.R., Vara Prasad P.V., Diwakar D.** Detection of Gear Fault Using Vibration Analysis. *International Journal of Research in Engineering and Science*. 2015. Vol. 3. № 2. P. 1–9.
3. **Sonawane P.B., Kharate N.K.** Fault Diagnosis of Windmill by FFT Analyzer. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*. 2014. Vol. 4. № 4. P. 47–54.

M.M. Fozilov, T.B. Chistyakova, A.N. Polosin **(**St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University), St. Petersburg)

Decision Support System for Resource-Saving Control of Extruders at Multi-Assortment Productions of Polymeric Films

A decision support system is described that helps operators to solve the problem of resource-saving control of various types of extruders used in the production of multi-assortment packaging polymer films. It includes an industrial data mining subsystem to predict the condition of extruders and film quality, and a subsystem for evaluating the health of extruders.

С. А. АББАС, А. И. ВОДЯХО
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

Н. А. ЖУКОВА
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской Академии Наук, Санкт-Петербург

М. А. ЧЕРВОНЦЕВ
Научно-инженерный центр СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург

ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ СБОРА ДАННЫХ В ГЕТЕРОГЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ И ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ИХ РЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЬНОГО ПОДХОДА

Аннотация. В докладе рассматриваются возможные подходы к построению систем сбора данных в многоуровневых распределенных системах. Делается вывод о возможности использования модельного подхода. Анализируются требования, предъявляемые к системе моделей. Рассматриваются возможные подходы к построению моделей. Предлагается система моделей, описывающих структуру и поведение наблюдаемой системы в терминах четырех графов: графа ресурсов, графа потока данных, графа потока управления и графа потока запросов, которые могут быть автоматически построены на основе информации, поступающей от наблюдаемой системы в форме лог-файлов. Предлагается виртуальная машина, реализующая данный подход.

Введение. Быстрое развитие техники и технологий, в частности, нанотехнологий, телекоммуникаций, программной инженерии позволяет создавать за приемлемые деньги и сроки системы принципиально более высокого уровня сложности по сравнению с существующими системами. При этом увеличивается не только сложность систем, но и повышается уровень их интеллекта за счет увеличения доли информационной составляющей, что позволяет относить эти системы к классу информационно-ориентированных систем (ИОС) (software intensive systems) [1]. В большинстве своем, современные ИОС представляют собой многоуровневые гетерогенные системы, состоящие из большого числа элементов разной физической природы, таких как механические, электромеханические, природные системы, а также людей [2]. Такие ИОС способны реализовывать сложное поведение и в перспективе способны к обучению и самообучению.

В современных ИОС решаются самые разнообразные задачи, в частности, задачи управления, сбора данных для последующего их анализа и многие другие. Эффективное решение всех этих задач требует реализации процедур сбора данных как о наблюдаемых системах (НС), так и о самой системе сбора данных (ССД). В этом контексте задача сбора данных становится достаточно актуальной и нетривиальной, поскольку наблюдатель (Н) не имеет полной информации о структуре НС и протекающих в ней бизнес-процессах (БП).

Процесс сбора данных. В самом общем виде процесс сбора данных (ПСД) может быть описан как ***ПСД = <Н, НС, ССД>,*** где ***Н*** – наблюдатели, ***НС*** – наблюдаемая система, ***ССД*** – система сбора данных. В качестве наблюдателя могут выступать как люди (операторы, сервисный персонал, аналитики, менеджеры разных уровней, так и подсистемы формирования управляющих воздействий. Н имеют свои интересы в получении данных, информации, знаний о НС. Н общаются с ССД на доменно-ориентированном языке (Domain Specific Language, DSL) [3]. Обычно число DSL определяются числом групп Н. DSL может формулировать запросы в терминах сырых данных, информации или знаний в зависимости от роли Н.

НС можно представить как ***НС = <СТР, ФНК, РС, ПОРТ***>, где ***СТР*** – структура НС, ***ФНК*** – реализуемая функциональность, ***РС*** – ресурсы, ***ПОРТ*** – порты доступа к НС со стороны ССД. СТР можно представить как ***СТР = <{стр}, ПТС>,*** где ***{стр}*** – множество возможных структур НС, а ***ПТС*** – правила трансформации структур. Аналогично можно определить функционал, реализуемый НС ***ФНК = <{бп}, ПТБП>,*** где ***{бп}*** – множество реализуемых БП, ***ПТБП*** правила трансформации БП (здесь речь идет о статике, для представления хода реализации БП требуется использовать разметку). Реализуемую функциональность можно описать также в терминах сервисов ***ФНК = {СЕРВ},*** где ***{СЕРВ}*** – множество реализуемых сервисов. Ресурсы описываются аналогичным образом ***РС =<{рс}, ПР>,*** где ***{рс}*** – множество элементарных ресурсов,

а ***ПР*** – правила реконфигурации. Следует заметить, что ресурсы могут быть как физическими, так и виртуальным. В последнем случае они могут рассматриваться как сервисы. ПОРТ можно определить как множество пар ***точка доступа – операции*** ПОРТ = {ТД, ОП}, однако ПОРТ удобнее определить как сервис. Описанная выше модель является одноуровневой. Реально чаще всего приходится иметь дело с иерархическими системами.

В таком контексте ПСД можно определить следующим образом. Н на собственном DSL обращается к ССД с запросом о состоянии НС, о состоянии отдельных элементов, о ходе БП. получает ответ на том же DSL. Запросы могут относиться к настоящему, прошлому или будущему моменту времени.

Предлагаемый подход к организации процесса сбора данных. Можно выделить 2 основных альтернативных подхода к построению ССД: прямой сбор данных и сбор данных с использованием промежуточной модели. В первом случае ССД располагает минимальным знанием о НС и при поступлении запроса Н необходимая информация собирается с НС, местом хранения данных, информации и знаний о НС является сама НС. Это подход, используемый в настоящее время чаще всего, и он достаточно хорошо работает в случае, когда в качестве НС используется, например, корпоративная информационная система с достаточно стабильной структурой. Однако, для современных интеллектуальных систем с постоянно изменяющейся структурой и поведением использование прямого подхода становится проблематичным, в частности, по причине больших задержек.

Альтернативой прямому подходу является модельный подход, который предполагает наличие в ССД явной модели НС. При этом запросы Н направляются к модели НС, т. е. процесс сбора данных разбивается на 2 параллельных подпроцесса: процесс построения и поддержания модели в актуальном состоянии и процесс обработки запросов Н. Очевидно, что в крупных распределенных системах модель НС тоже является распределенной.

Функционирование модельно-ориентированной ССД может быть описано в терминах 4х асинхронно работающих виртуальных машин: процессора моделей, процессора генерации скриптов, интерпретатора скриптов и процессора обработки запросов Н и формирования представлений, которые работают с репозитарием моделей. Процессор моделей отвечает за формирование моделей, их модификацию и обработку запросов к моделям. Процессор формирования скриптов на основании запроса Н и модели формирует скрипт, который реализует процедуру сбора данных. Интерпретатор скриптов выполнят скрипты. Процессор обработки запросов и формирования представлений обрабатывает запросы Н.

Основными преимуществами модельного подхода по сравнению с прямым подходом являются: возможность уменьшить время отклика на запрос Н, отслеживать динамику структуры и поведения НС, состоящей из элементов разной физической природы, включая людей (киберфизические, социофизические системы) [2], если НС может работать с разными моделями, возможность оперативно получать данные о прошлых состояниях и в определенных пределах предсказывать поведение НС, что важно, в частности, для реализации проактивного управления и реализации таких механизмов как самодиагностика, самовосстановление и т. п.

Понятно, что прямой сбор и чисто модельный подход представляют собой крайние случаи. В крупных распределенных системах реально использование только распределенных ССД.

Представление моделей НС. Это один из ключевых вопросов, поскольку к моделям НС предъявляются жесткие требования, основными из которых являются следующие: модель должна адекватно требуемым уровням детализации описывать текущее, прошлое и будущее состояния НС в терминах ее структуры и поведения, должна иметься возможность автоматического построение и коррекции модели по поступающей в форме логов информации о событиях в НС, модель должна обеспечивать меньшее время отклика на запросы пользователей по сравнению с прямым сбором данных. Наиболее жестким следует считать требование автоматического построения структурных моделей и моделей поведения. При анализе кандидатов на использование в качестве модели НС рассматривались следующие известные подходы: акторный подход [4], G-графы [5] и модель, основанная на стратегиях управления [6]. Была выбрана последняя модель. Применительно к ССД эта модель может быть интерпретирована следующим образом: ***МНС = <РГ, АУРГ, ГПД, ГПУ, ГПЗ, АРБП>,*** где ***МНС*** – модель НС, ***РГ*** – ресурсный граф, ***АУРГ*** – автомат управления ресурсным графом, ***ГПД*** – граф потока данных, ***ГПУ*** – граф потока управления, ***ГПЗ*** – граф потока запросов, ***АРБП*** – автомат реструктуриза-

ции БП. РГ описывает текущую структуру, АУРГ определяет возможности реструктуризации. БП описываются в терминах графа ГПД, отражающего зависимости по данным, ГПУ описывает порядок выполнения операторов, а ГПЗ описывает решаемую задачу в терминах запросов на выполнение операторов. В [7] рассматриваются вопросы автоматического построения многоуровневых структурных моделей НС. В рамках концепции Process Mining [8] решается задача автоматического построения ГПУ и частично ГПД.

Данная модель может быть реализована на разных платформах, в частности, в виде объектно-ориентированного представления на языке высокого уровня, на онтологической платформе, с использованием графов знаний. Анализ показывает, что наибольшее быстродействие можно получить при реализации МНС на языках высокого уровня, наиболее простые решения можно получить при реализации МНС в форме онтологий.

Проблемы реализации модельного подхода. На концептуальном уровне можно выделить 3 альтернативных подходах к построению ССД. В первом случае ССД строится как элемент системы управления, при этом число Н минимально, основным Н является подсистема формирования управляющих воздействий, а основные требования связаны с минимальным временем отклика. При этом сама ССД может быть встроена, например, в оборудование. Во втором случае ССД строится как обычная информационно-управляющая система, основным назначением которой является сбор данных и представление их в разных форматах разным группам Н в соответствии с их ролями. В этом случае основная нагрузка обычно падает на подсистему обработки запросов Н и формирование представлений. В третьем случае ССД строится как контекстно-ориентированная система [9], в которой имеется отдельная модель, описывающая текущий контекст.

Наибольший практический интерес с точки зрения архитектуры представляют сервисно-ориентированные архитектуры и, в первую очередь, микросервисы. Если ССД не ориентированы на работу в реальном времени, то особых проблем не возникает. Однако, если НС работает даже в режиме нежесткого реального времени, то возникают проблемы с быстродействием.

В самом общем виде сервисное представление ***СОП = <{срв}, {скр}>***, где ***{срв}*** – множество сервисов, а ***{скр}*** – множество скриптов, выполняющих операции над сервисами. Можно выделить две основные группы сервисов: инфраструктурные сервисы (сервисы нижнего уровня) и сервисы верхнего уровня. Скрипты представляют собой программы на DSL или языке общего назначения, которые могу строиться как в статике, так и в динамике.

Одна из потенциально возможных областей применения СДД, использующих модельный подход – это КФС [2], построенные на базе туманных платформ [10], использующих трехуровневую структуру. На нижнем уровне находятся сети датчиков, на среднем -контроллеры, а на верхнем – облачные сервера. На нижнем уровне размещаются инфраструктурные сервисы, реализующие предварительную обработку информации. Основная обработка реализуется на среднем уровне, где располагаются основные сервисы. На верхнем уровне располагаются модели верхнего уровня и сервисы, требующие наличие мощных вычислителей (аналитика, синтез моделей).

Заключение. Предлагаемый подход является достаточно общим, и в большинстве случаев нет необходимости использовать его в полном объеме. Основной сферой применения следует считать сложные распределенные КФС с постоянно изменяющейся структурой и динамическими бизнес-процессами. Несомненным достоинством предлагаемого подхода является возможность строить НС нового уровня сложности и возможность реализовывать процедуры сбора данных в КФС с высоким уровнем интеллекта. Основными проблемами, связанными с практическим применением предлагаемого модельного подхода являются достаточно высокая сложность и относительно большое время оклика.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Standard ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and software engineering — Architecture description [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: http://www.iso.org
2. Sanfelice R.G. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice / D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic. CRC Press, 2016. ISBN 978-1-4822-6333-6.
3. Fowler M. Domain-Specific Languages: Addison-Wesley. Upper-Saddle River. NJ 2014. 583 p.
4. Agha G.A. Actors: A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems: MIT. MA 1986, 142 p.
5. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М**. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

6. Функционально-ориентированные процессоры / Водяхо А.И., Смолов В.Б., Плюснин В.У., Пузанков Д.В.; /под ред. В.Б. Смолова. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд. 1988. 224 с.
7. Distributed Technical Object Model Synthesis Based on Monitoring Data / V.Yu. Osipov, A.I. Vodyaho, N.A. Zhukova, M. Tianxing, S. Lebedev // International Journal of Knowledge and Systems Science (IJKSS). 2019. Vol. 10, Iss. 3. Art. 3. P. 27–43.
8. Van der Aalst W. Process Mining Data Science in Action. Second Edition. Heidelberg. Springer, 2016. 468 p
9. Loke S. Context-Aware Pervasive Systems. Architectures for a New Breed of Applications.Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2007. 220 p.
10. IEEE Standard Association. FOG − Fog Computing and Networking Architecture Framework, [Online] http://standards.ieee.org/develop/wg/ FOG.html (дата обращения 17.11.2019).

S.A. Abbas, A.I. Vodyaho, (St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg); N.A. Zhukova, (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Science, St. Petersburg); M.A. Chervontsev, (Research and Engineering Center of Saint Petersburg Electro-Technical University, St. Petersburg)

Typical Data Collection Problems in Heterogeneous Distributed Software Intensive Systems and Possible Solutions Based on Model Approach

The report discusses possible approaches to building data collection systems in multi-level distributed systems. The conclusion is made about the possibility of using a model approach. The requirements for the system of model are analyzed, possible approaches to building models are considered. The model which describes the structure and the behavior of the observed system is proposed. The model describes the observed system in terms of 4 graphs: a resource graph, a data flow graph, a control flow graph, and a query flow graph, which can be automatically constructed on the base of information received from the observed system in the form of log files. A virtual machine that implements this approach is proposed.

ЛЕ ХОНГ КУАНГ, В. В. ПУТОВ, В. Н. ШЕЛУДЬКО
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОСТЕПЕННЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С АДАПТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ВОЗМУЩЕНИЯ

В докладе рассматриваются задачи управления многостепенным нелинейным электромеханическим объектом с упругими свойствами и внешним неизвестным возмущением. Неизвестное возмущение представляется в виде выхода линейной автономной модели с неизвестными постоянными параметрами. Для решения задачи адаптивной компенсации возмущения используется адаптивный наблюдатель внешних возмущений. Предлагается семейство алгоритмов нелинейного робастного управления электромеханическим объектом, синтезированных на основе метода адаптивного обхода интегратора и объединенных с адаптивной компенсацией возмущения. Моделирование построенного нелинейного робастного управления с адаптивным наблюдателем возмущения производится с помощью программы MATLAB/Simulink.

Введение. В докладе рассматриваются вопросы построения нелинейной робастной системы управления многостепенным нелинейным электромеханическим объектом с упругими свойствами, эффективной в условиях действия неизмеримых внешних возмущений. Задачи повышения точности адаптивных систем в условиях действия неизмеримых внешних возмущений отвечают реальным потребностям повышения точности управления техническими объектами, поэтому разработка таких систем является одним из актуальных направлений исследований. Начиная с конца прошлого столетия, широкое распространение получили исследования методов огрубления адаптивных и нелинейных алгоритмов управления, обеспечивающих экспоненциальную устойчивость систем при отсутствии внешних возмущений и сохраняющих ограниченность всех сигналов при их воздействии. К таковым алгоритмам относятся алгоритмы с так называемой σ-модификацией, а именно, с квазиотрицательной обратной связью, с зоной нечувствительности и с переключением [1–3], а также проекционные алгоритмы (Projection Operator) [4, 5]. В то же время методы огрубления не являются алгоритмами целенаправленного повышения точности адаптивных систем, и в последние десятилетия развиваются методы синтеза адаптивных наблюдателей внешних возмущений, решающих задачи активной компенсации возмущений [2]. Одним из таких подходов является получивший широкое распространение метод внутренней модели, когда в предположении детерминированности возмущений строится так называемый генератор внешнего возмущения, играющий роль встроенного в систему управления наблюдателя возмущения, обеспечивающего задачу его компенсации [2, 6]. Однако компенсация возмущений с помощью наблюдателей осуществима при условии, что известны параметры модели возмущения и объекта управления, что противоречит самой постановке задачи адаптивного управления. Более естественным в постановке таких задач является предположение параметрической неопределенности как генераторов возмущений, так и самих объектов управления. Исследованию возможностей распространения методов внутренней модели на классы неопределенных генераторов возмущений и управляемых объектов посвящены работы [6, 7]. В докладе рассматриваются вопросы применения изложенных в [6, 7] методов построения адаптивных наблюдателей возмущений к задачам управления нелинейным многостепенным упругим электромеханическим объектом, причем к построению семейства нелинейных робастных систем управления динамикой трех моделей многостепенного механического объекта, представленных двух-, четырех- и пятикаскадной структурами, привлекается метод адаптивного обхода интегратора (Adaptive Integrator Backstepping) [1, 5, 8–11].

Основные обозначения, используемые в последующих разделах доклада

R^n – n-мерное вещественное пространство; $q \in R^n$ – вектор углов вращения звеньев многостепенного объекта; $\theta \in R^n$ – вектор углов вращения приводных частей звеньев; $M(q) \in R^{n\times n}$ – функциональная матрица инерции, неособенная, симметричная и положительно определенная для всех q; $C(q,\dot{q}) \in R^{n\times n}$ – функциональная матрица кориолисовых и центробежных сил;

$D(q) \in R^n$ – вектор-функция гравитационных сил; $K_c \in R^{n\times n}; J \in R^{n\times n}$ – диагональные числовые матрицы, определяемые коэффициентами упругости трансмиссий и моментами инерции приводных частей; $d(t) \in R^n$ – вектор неизвестных ограниченных внешних возмущений, $\|d\| \le \text{const}; \|\cdot\|$ – евклидова норма; $u_я \in R^n$, $I_я \in R^n$ – векторы напряжений и токов якорных обмоток; $L_я \in R^{n\times n}$, $R_я \in R^{n\times n}$, $k_M \in R^{n\times n}$, $k_e \in R^{n\times n}$ – диагональные матрицы индуктивностей, активных сопротивлений якорных цепей и постоянных коэффициентов, определяемых конструктивными данными электрических машин; $\mathbf{e}_я \in R^n$ – вектор ЭДС якорных обмоток; n – число степеней объекта; $I = k_M I_я$; $L = L_я k_M^{-1}$; $R = R_я k_M^{-1}$; $K = k_e$; $u = u_я$ – синтезируемое управление; предполагается, что объект полностью управляем и наблюдаем, а компоненты векторов q, $\dot{q}$, θ, $\dot{\theta}$, I доступны измерению; переменные состояния объекта: $x_1 = q$, $x_2 = \dot{q}$, $x_3 = \theta$, $x_4 = \dot{\theta}$, $x_5 = I$; $\alpha_i \in R^n$ и $\alpha_i^c \in R^n, i = 1,2,3,4,$ виртуальные управления и их отфильтрованные аналоги соответственно [12,13]; новые переменные $z_1 = x_1 - x_d$; $z_2 = x_2 - \alpha_1^c$; $z_3 = x_3 - \alpha_2^c$; $z_4 = x_4 - \alpha_3^c$; $z_5 = x_5 - \alpha_4^c$, где x_d – желаемый сигнал x_1; ошибки фильтрации $\tilde{\alpha}_i = \alpha_i^c - \alpha_i, i = 2,3,4,$ произвольные положительно определенные симметричные матрицы $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 \in R^{n\times n}$.

Адаптивный наблюдатель возмущений объекта

Будем рассматривать многостепенный нелинейный механический объект, описываемый векторно-матричным уравнением Лагранжа вида

$$M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + D(q) = \tau + d(t) \tag{1}$$

Следуя [6, 7], будем считать, что возмущение d представимо в виде выхода линейного конечномерного генератора

$$\dot{\chi} = W\chi;\ d = V\chi, \tag{2}$$

где: $\chi \in R^m$ – вектор состояния генератора; $W \in R^{m\times m}$, $V \in R^{n\times m}$ – матрицы неизвестных коэффициентов, причем матрица W имеет все собственные значения, лежащие на мнимой оси; пара (W, V) является полностью наблюдаемой. Согласно [6,7], вектор неизвестного возмущения d может быть представлен в виде, применимом в синтезе искомого наблюдателя неизвестного возмущения:

$$\dot{\zeta} = G\zeta + Nd; \qquad d = \Theta^T\zeta, \tag{3}$$

где: $G \in R^{m\times m}$ – произвольная гурвицева матрица; $\Theta \in R^{m\times n}$ – неизвестная матрица постоянных коэффициентов, вектор состояния $\zeta \in R^m$ связан с вектором состояния $\chi \in R^m$ модели (2) соотношением подобия $\zeta = H\chi$, $H \in R^{m\times m}$ – невырожденная матрица, являющаяся единственным решением матричного уравнения

$$HW - GH = NV,$$

G, N – полностью управляемая пара, $\Theta = (VH^{-1})^T$.

Реальный нелинейный наблюдатель для недоступного регрессора ζ строится с учетом уравнений объекта (1) следующим образом [6,7,10]:

$$\hat{\zeta} = \eta + HM(x_1)x_2, \tag{4}$$

$$\dot{\eta} = G\eta + GHM(x_1)x_2 - H\dot{M}(x_1)x_2 + H\left[C(x_1,x_2)x_2 + D(x_1) - K_c(x_3 - x_1)\right], \tag{5}$$

где: $\hat{\zeta}$ – оценка вектора ζ; η – вектор состояния вспомогательного динамического фильтра (5).

Неизвестный вектор возмущения d может быть представлен в виде [6, 7]

$$d = \Theta^T\hat{\zeta} + \varepsilon_d, \tag{6}$$

Отметим, что в рамках рассматриваемой задачи матрицы генератора W и S являются неизвестными, и поэтому матрица Θ также является неизвестной. Таким образом, неопределенность внешнего возмущения d сведена к неопределенности постоянной матрицы параметров Θ параметризованной модели возмущения (3). Линейно параметризованная регрессионная модель вида (3) с неизвестной матрицей постоянных коэффициентов Θ широко распространена в задачах адаптивной идентификации и адаптивного управления, поэтому для компенсации возмущения, представленного в виде (3), могут быть применены известные методы адаптивного управления [1]. Применим метод обхода интегратора к построению адаптивной робастной системы управления многостепенным электромеханическим объектом с компенсацией возмущения [1, 7–10].

Адаптивный робастный регулятор для жёсткого многостепенного механического объекта с компенсацией возмущения

Система уравнений объекта (1) может быть приведена к двухкаскадной форме следующего вида:

$$\dot{x}_1 = x_2;\ \dot{x}_2 = M^{-1}(x_1)\left[-C(x_1, x_2)x_2 - D(x_1) + K_c(x_3 - x_1) + d(t)\right]. \tag{7}$$

Закон управления объектом (7) с адаптивной компенсацией возмущения может быть представлен в виде

$$\begin{cases} \alpha_1 = -c_1 z_1 + \dot{x}_d; \\ \tau = -z_1 - c_2 z_2 + M\dot{\alpha}_1^c + C(x_1, x_2)\alpha_1^c + D - \hat{\Theta}^T\hat{\xi}. \end{cases} \tag{8}$$

Представим адаптивный алгоритм наблюдателя с использованием проекционного оператора (Projection Operator) в виде

$$\dot{\hat{\theta}}_i = \Gamma_i \operatorname{Pr} oj(-z_{2,i}\hat{\zeta}, \hat{\theta}_i), i = 1, 2, ..., n, \tag{9}$$

где: $\hat{\theta}_i, i = 1, 2, ..., n$, –столбцы оценочной матрицы неизвестных коэффициентов $\hat{\Theta}$; $\Gamma_i = \Gamma_i^T \in R^{m\times m}$ – симметричные положительно определенные матрицы, $z_{2,i}, i = 1, ..., n,$ – i-й элемент вектора z_2, $Proj(-z_{2,i}\hat{\zeta}, \hat{\theta}_i)$ – проекционные операторы для столбцов $\hat{\theta}_i$ оценочной матрицы $\hat{\Theta}$, которые подробно описаны в [4] и применены в [10].

Адаптивный робастный регулятор для многостепенного механического объекта с упругими свойствами

Дифференциальные уравнения, описывающие движение многостепенного механического объекта с упругими свойствами, имеют вид

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D(q) = K_c(\theta - q) + d(t);\ J\ddot{\theta} + K_c(\theta - q) = \tau \tag{10}$$

Система уравнений объекта (10) может быть приведена к четырехкаскадной форме следующего вида:

$$\dot{x}_1 = x_2;\ \dot{x}_2 = M^{-1}(x_1)\left[-C(x_1, x_2)x_2 - D(x_1) + K_c(x_3 - x_1) + d(t)\right];$$
$$\dot{x}_3 = x_4;\ \dot{x}_4 = J^{-1}(\tau + K_c x_1 - K_c x_3) \tag{11}$$

Закон управления объектом (11) с адаптивной компенсацией возмущения может быть представлен в виде

$$\begin{cases} \alpha_1 = -c_1 z_1 + \dot{x}_d; \\ \alpha_2 = K_c^{-1}(-z_1 - c_2 z_2 + M\dot{\alpha}_1^c + C(x_1, x_2)\alpha_1^c + D - \hat{\Theta}^T\hat{\xi} + K_c x_1); \\ \alpha_3 = -c_3 z_3 - K_c z_2 + \dot{\alpha}_2^c; \\ \tau = -c_4 z_4 - z_3 + K_c(x_3 - x_1) + J\dot{\alpha}_3^c. \end{cases} \tag{12}$$

Адаптивный робастный регулятор многостепенного электромеханического объекта с упругими свойствами

Дифференциальные уравнения, описывающие движение многостепенного электромеханического объекта с упругими свойствами, имеют вид

$$M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + D(q) = K_c(\theta - q) + d(t)\,;\; J\ddot{\theta} + K_c(\theta - q) = k_M I_я\,;\; L_я\dot{I}_я = u_я - k_e\dot{q} - R_я I_я \quad (13)$$

Систему уравнений (13) можно переписать в виде:

$$M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + D(q) = K_c(\theta - q) + d(t)\,;\; J\ddot{\theta} + K_c(\theta - q) = I\,,\; L\dot{I} + RI + K\dot{q} = u\,. \quad (14)$$

Система уравнений объекта (14) может быть приведена к каскадной форме следующего вида:

$$\dot{x}_1 = x_2;\; \dot{x}_2 = M^{-1}(x_1)\left[-C(x_1, x_2)x_2 - D(x_1) + K_c(x_3 - x_1) + d(t)\right];$$
$$\dot{x}_3 = x_4;\; \dot{x}_4 = J^{-1}(x_5 + K_c x_1 - K_c x_3);\; \dot{x}_5 = L^{-1}(u - Rx_5 - Kx_2). \quad (15)$$

Закон управления объектом (15) с адаптивной компенсацией возмущения может быть представлен в виде

$$\begin{cases} \alpha_1 = -c_1 z_1 + \dot{x}_d; \\ \alpha_2 = K_c^{-1}(-z_1 - c_2 z_2 + M\dot{\alpha}_1^c + C(x_1, x_2)\alpha_1^c + D - \hat{\Theta}^T\hat{\xi} + K_c x_1); \\ \alpha_3 = -c_3 z_3 - K_c z_2 + \dot{\alpha}_2^c; \\ \alpha_4 = -c_4 z_4 - z_3 + K_c(x_3 - x_1) + J\dot{\alpha}_3^c; \\ u = -c_5 z_5 - z_4 + Rx_5 + Kx_2 + L\dot{\alpha}_4^c. \end{cases} \quad (16)$$

Для генерации α_i^c и $\dot{\alpha}_i^c$, $\alpha_i, i = 2,3,4,$ сигналы α_i и $\dot{\alpha}_i$ пропускаются через следующий фильтр второго порядка [12, 13]:

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = e_2, \\ \dot{e}_2 = -2vbe_2 + b^2(\alpha_2 - e_1), \end{cases} \quad (17)$$

где $e_1(0) = \alpha_i^c(0) = 0;$ и $e_2(0) = \dot{\alpha}_i^c(0) = 0;\; e_1 = \alpha_i^c, e_2 = \dot{\alpha}_i^c$, $b \in R^+$ – собственная частота, и $v \in R^+$ – коэффициент затухания.

Моделирование. Результаты моделирования, полученные для двухстепенного электромеханического упругого манипулятора робота с помощью MATLAB/Simulink, подтверждают эффективность построенных адаптивных робастных регуляторов с адаптивной компенсацией неизвестного детерминированного возмущения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Fradkov A.L., Miroshnik I.V., Nikiforov V.O.** Nonlinear and adaptive control of complex systems.Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1999, 510 p.
2. **Ioannou P.A., Kokotovic, P.V.** Instability analysis and improvement of robustness of adaptive control // Automatica. 1984. Vol. 20. №.5. P. 583-594.
3. **His L., Costa R.R.** Bursting phenomena in continuous-time adaptive systems with a σ-modification // IEEE Trans.onAutom. Control. 1987. Vol. 32. № 1. P. 84-86.
4. **Z. Cai, M.S. de Queiroz, D.M. Dawson.** A sufficiently smooth projection operator // IEEE. Transactions on Automatic Control. Vol. 51, №. 1, January, 2006.
5. **Ikhouane F.I., Krstic V.** Adaptive backstepping which parameter projection: robustness and performance // Automatica. 1998. Vol. 34. №.4. P. 429-435.
6. **Никифоров В.О.** Наблюдатели внешних детерминированных возмущений. I. Объекты с известными параметрами // Автоматика и телемеханика. 2004. № 10. С. 13-24.
7. **Никифоров В.О.** Наблюдатели внешних детерминированных возмущений II. Объекты с неизвестными параметрами // Автоматика и телемеханика. 2004, № 11, С.40-48.
8. **Krstic, M., Kanellakopoulos, I., Kokotovic, P.V.** Nonlinear and Adaptive Control Design. N.Y.: John Wiley and Sons. NewYork. 1995. 576 p.
9. **Тюкин И.Ю., Терехов В.А.** Адаптация в нелинейных динамических системах. М. Изд-во ЛКИ. 2008. 384 с.
10. **Ле ХонгКуанг, В.В. Путов, В.Н. Шелудько.** Робастное управление многостепенным механическим объектом с адаптивной компенсацией возмущения // XXIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 27-29 мая, 2020.
11. **Нгуен Дык Фу, Путов В.В., Чу ЧонгШы**.Адаптивные системы управления жестким четырехзвенным манипуляционным роботом с электроприводами постоянного тока // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб.: 2019. Вып.8. С. 84-95
12. **Farrell, J.A., Polycarpou, M., Sharma, M., Dong, W.:** Command filtered backstepping // IEEE Trans. Autom. Control 54(6). 2009. P.1391-1395.
13. **W. Dong, J. A. Farrell, M. M. Polycarpou, V. Djapic, and M. Sharma,** "Command filtered adaptive backstepping" // IEEE Trans. Control Syst. Technol. May 2012. vol. 20. no. 3. p. 566-580.

Le Hong Quang, V. V. Putov, V. N. Sheledko (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg)

Robust Control of a Multi-stage Mechanical Plant with Adaptive Disturbance Compensation

The report considers the control problem for a multi-stage nonlinear electromechanical object with elastic properties and an external unknown disturbance. An unknown disturbance is represented as the output of a linear autonomous model with unknown constant parameters. To solve the problem of adaptive compensation of disturbances, an adaptive external disturbance observer is used. An algorithm for nonlinear robust control of an electromechanical plant is proposed, synthesized on the basis of the adaptive traversal method backstepping with the estimate of the adaptive disturbance observer. The simulation of the constructed nonlinear robust control with an adaptive disturbance observer is performed using the MATLAB / Simulink program.

ЛЕ ХОНГ КУАНГ, В. В. ПУТОВ, В. Н. ШЕЛУДЬКО
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЖЕСТКИМ МНОГОСТЕПЕННЫМ НЕЛИНЕЙНЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

В докладе рассматриваются вопросы применения метода вычисленного момента, метода мажорирующих функций и метода адаптивного обхода интегратора (Adaptive Integrator Backstepping) с проекционными алгоритмами (Projection Operator) к синтезу адаптивных систем управления жесткими многостепенными нелинейными механическими объектами.

Введение. В условиях сложности, нелинейности и неопределенности математического описания жестких многостепенных взаимосвязанных нелинейных механических объектов с повышенными требованиями к динамической точности траекторного движения, таких как многокоординатные металлообрабатывающие станки, лазерные технологические комплексы, манипуляторы промышленных и специальных роботов, космические, воздушные, наземные или морские подвижные объекты различного назначения, целесообразно решать проблемы управления ими в рамках адаптивного подхода. При этом наиболее подходящими для управления динамическими объектами, описываемыми обыкновенными дифференциальными уравнениями, являются беспоисковые (аналитические) адаптивные системы, принципиально рассчитанные на функционирование в реальном времени. Известными методами построения беспоисковых адаптивных систем являются метод скоростного градиента, предложенный и развитый в работах [1], [2], метод вычисленного момента [3], [4], метод мажорирующих функций [5], [6]и метод адаптивного обхода интегратора (Adaptive Integrator Backstepping) [7–9].

В статье рассматриваются вопросы сравнительного исследования эффективности беспоисковых адаптивных систем управления жесткими многостепенными нелинейными механическими объектами, построенными на основе метода вычисленного момента, метода мажорирующих функций и метода адаптивного обхода интегратора с проекционными алгоритмами (projection operator) [9],[10].

Адаптивное управление жестким многостепенным нелинейным механическим объектом, построенное по методу вычисленного момента

Будем рассматривать многостепенный нелинейный механический объект, описываемый векторно-матричным уравнением Лагранжа вида

$$M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + D(q) = \tau \qquad (1)$$

где $q \in R^n$ – вектор обобщённых координат; $\tau \in R^n$ – вектор управляющих входов (сил, моментов), $M(q) \in R^{n\times n}$ – функциональная матрица инерции, неособенная, симметричная и положительно определенная для всех q; $C(q,\dot{q}) \in R^{n\times n}$ – функциональная матрица кориолисовых и центробежных сил; $D(q) \in R^n$ – вектор-функция гравитационных сил; n – число степеней подвижности механического объекта.

Уравнения (1) могут быть записаны в следующем параметризованном виде [3]:

$$Y(q,\dot{q},\ddot{q})a = \tau, \qquad (2)$$

где $a \in R^n$ – m-мерный вектор неизвестных постоянных массоинерционных параметров объекта; $Y(q,\dot{q},\ddot{q}) \in R^{n\times m}$ – нелинейная матричная функция, зависящая от $q,\dot{q},\ddot{q}$ и называемая регрессором. Следуя [3, 4], введем следующие обозначения: q_d – вектор заданных траекторий движения объекта; $e = q - q_d$ – вектор ошибки слежения; $v = \dot{q}_d - \Lambda e$ – эталонная скорость ($\mathbf{\Lambda}$ – симметричная положительно определенная матрица); $s = \dot{q} - v = \dot{e} + \Lambda e$ –линейная комбинация ошибок по обобщенным скоростям и обобщенным положениям; $\hat{a}$ – вектор оценки неизвестного вектора a; $\tilde{a} = a - \hat{a}$ – ошибка оценки вектора неизвестных параметров;

$\hat{M}(q),\hat{C}(q,\dot{q}),\hat{D}(q)$ – матрицы, получающиеся из матриц $M(q),C(q,\dot{q}),D(q)$, заменой вектора a на его оценку $\hat{a}$.

В силу определения регрессора из (1), (2) следует тождество вида

$$\hat{M}(q)\dot{v}+\hat{C}(q,\dot{q})v+\hat{D}(q)=Y(q,\dot{q},v,\dot{v})\hat{a}$$

С учетом введенных обозначений, адаптивный закон управления объектом (1) по методу вычисленного момента будет иметь следующий вид:

$$\tau=Y(q,\dot{q},v,\dot{v})\hat{a}-K_d s, \tag{3}$$

а регуляризованный алгоритм параметрической настройки будет выражаться векторным дифференциальным уравнением вида

$$\dot{\hat{a}}=-\Gamma Y^T(q,\dot{q},v,\dot{v})s-K_d\hat{a}, \tag{4}$$

где K_d,Γ – симметричные положительно определенные матрицы.

Можно показать [3],[4], что закон адаптивного управления (3) и алгоритм параметрической настройки (4) обеспечивают экспоненциальную диссипативность по переменным s; $\tilde{a}=a-\hat{a}$, где матрица K_d определяет скорость сходимости вектора s к инвариантному множеству (нулей соответствующей функции Ляпунова).

Адаптивные структуры управления жестким многостепенным нелинейным механическим объектом с алгоритмами параметрической настройки и мажорирующими функциями

Следуя [5],[6], укажем, что применение метода мажорирующих функций допускает неопределенность не только параметров, но и вида нелинейных функций, описывающих объект (1), и опирается на детализацию его математического описания в следующем виде:

$$\ddot{q}_i=a_i(q,\dot{q},t)+b_i(q,t)u_i(q,\dot{q},t)+\sum_{j=1,\,j\neq i}^{m}\left[f_{ij}(q,\dot{q},t)+s_{ij}(q,\dot{q},t)\right], \tag{5}$$

где $a_i(q,\dot{q},t)=a_{i_1}(q,t)q_i+a_{i_2}(q,t)\dot{q}_i+a_{i_3}(q,t)\dot{q}_i^2$;

$f_{ij}(q,\dot{q},t)=f_{ij}^1(q,t)q_j+f_{ij}^2(q,t)\dot{q}_j+f_{ij}^3(q,t)\dot{q}_i\dot{q}_j+f_{ij}^4(q,t)\dot{q}_j^2$;

$s_{ij}(q,\dot{q},t)=b_{ij}(q,t)u_j(q,\dot{q},t);i,j=1,2,...,m;$ все нелинейные коэффициенты, а также u_i суть глобально ограниченные скалярные нелинейные функции, непрерывно дифференцируемые по аргументам q_i и кусочно-непрерывные по времени *t*;

$$u_i(q,\dot{q},t)=u_i^H(q,\dot{q})+u_i^a(q,\dot{q})+u_i^0(t); \tag{6}$$

где u_i^H – неадаптивное (линейное) с постоянными настройками, $u_i^0(t)$ – программное, u_i^0 – искомое адаптивное управления (моменты) в i-й степени подвижности. В [5],[6] указывается, что неадаптивные управления $u_i^H(q_i,\dot{q}_i);i=1,...,n$ решают задачи формирования локальной динамики следящих систем, характеризуемых некоторыми постоянными усредненными параметрами, и могут быть рассчитаны линейными методами модального, следящего за эталонной моделью, подчиненного и т.п. управлений (считаются известными), а внимание сосредотачивается на построении адаптивных управлений $u_i^a(q,\dot{q})$.

В частности, развязывающее адаптивное управление объектом (5) состоит из совокупности локальных эталонных моделей

$$u_{разв.i}^a(q_j,\dot{q}_j)=\sum_{j=1,\,j\neq i}^{n}\left[k_{ij5}(t)q_j+k_{ij6}(t)\dot{q}_j+k_{ij7}(t)\dot{q}_j^2+k_{ij8}(t)\dot{q}_i\dot{q}_j+k_{ij9}(t)u_j^0(t);i,j=1,...,n\right] \tag{7}$$

с алгоритмами настройки параметров, выражаемыми уравнениями

$$\begin{aligned}&\dot{k}_{ij5}(t)=-\gamma_{ij5}q_j-\alpha_{ij5}k_{ij5}(t);\dot{k}_{ij6}(t)=-\gamma_{ij6}\dot{q}_j-\alpha_{ij6}k_{ij5}(t);\dot{k}_{ij7}(t)=-\gamma_{ij7}\dot{q}_j^2-\alpha_{ij7}k_{ij7}(t);\\&\dot{k}_{ij8}(t)=-\gamma_{ij8}\dot{q}_i\dot{q}_j-\alpha_{ij8}k_{ij8}(t);\dot{k}_{ij9}(t)=-\gamma_{ij9}u_j^0(t)-\alpha_{ij9}k_{ij9}(t),\end{aligned} \tag{8}$$

где: $\gamma_{i_*},\alpha_{i_*}(*=5,...,9)$ –строго положительные постоянные коэффициенты усиления алгоритмов, $i,j=1,...,n$.

Адаптивное управление жестким многостепенным нелинейным механическим объектом, построенное по методу адаптивного обхода интегратора

Преобразуя уравнения механического объекта (1) к форме Коши $x_1 = q$, $x_2 = \dot{q}$, приведем уравнения (1) к каскадной форме следующего вида:

$$\dot{x}_1 = x_2;\ \dot{x}_2 = M^{-1}(x_1)\left[-C(x_1, x_2)x_2 - D(x_1) + \tau\right] \tag{9}$$

Применим метод адаптивного обхода интегратора к построению адаптивной робастной системы управления [7]–[9].

Пусть $\alpha \in R^n$ является виртуальным управлениям. Введем новые переменные (ошибки слежения) $z_1 = x_1 - x_d$; $z_2 = x_2 - \alpha$, где x_d – желаемый сигнал x_1, и положительно определенные симметричные матрицы $c_i \in R^{n\times n}, i = 1,2$. Полагаем, что постоянные параметры функциональных матриц $M(x_1)$, $C(x_1,x_2)$ и $D(x_1)$ неизвестны. Запишем следующее тождество:

$$M(x_1)\dot{\alpha} + C(x_1, x_2)\alpha + D(x_1) = \Theta_\alpha^T \varphi_\alpha(x_1, x_2, \alpha, \dot{\alpha}) \tag{10}$$

где $\Theta_\alpha = \left[\theta_{\alpha_1}, \theta_{\alpha_2}, ..., \theta_{\alpha_n}\right] \in R^{m\times n}$ – неизвестная постоянная матрица со столбцами $\theta_{\alpha_i} \in R^m, (i = 1,2,...,n)$; $\varphi_\alpha(x_1, x_2, \alpha, \dot{\alpha}) \in R^{m\times 1}$ – известный вектор-регрессор.

Закон управления объектом (9) может быть представлен в виде

$$\tau = -z_1 - c_2 z_2 + \hat{\Theta}_\alpha^T \varphi_\alpha(x_1, x_2, \alpha, \dot{\alpha}) \tag{11}$$

где $\alpha = -c_1 z_1 + \dot{x}_d$; матрица $\hat{\Theta}_\alpha = \left[\hat{\theta}_{\alpha_1}, \hat{\theta}_{\alpha_2}, ..., \hat{\theta}_{\alpha_n}\right] \in R^{m\times n}$ со столбцами $\hat{\theta}_{\alpha_i} \in R^m, (i = 1,2,...,n)$ являются оценочными матрицами. Разработаны следующие адаптивные алгоритмы с параметрической проекцией для настройки матриц коэффициентов $\hat{\Theta}_\alpha$ [9], [10]:

$$\dot{\hat{\theta}}_{\alpha_i} = \Gamma_{\alpha_i} \Pr oj(-z_{2,i}\varphi_\alpha, \hat{\theta}_{\alpha_i}), i = 1,2,...,n, \tag{12}$$

где $\hat{\theta}_{\alpha_i}, i = 1,2,...,n$, – i-ые столбцы оценочных матриц неизвестных коэффициентов $\hat{\Theta}_\alpha$; $\Gamma_{\alpha_i} = \Gamma_{\alpha_i}^T \in R^{m\times m}$ и – симметричные положительно определенные матрицы, $\Pr oj(-z_{2,i}\varphi_\alpha, \hat{\theta}_{\alpha_i})$ – проекционные операторы для i-ых столбцов $\hat{\theta}_{\alpha_i}$ оценочных матриц $\hat{\Theta}_\alpha$, которые подробно описаны в [10] и применимы в [11].

Моделирование. Результаты моделирования, полученные для двухстепенного механического манипулятора робота с помощью MATLAB/Simulink, подтверждают эффективность построенных видов адаптивного управления и их сравнительной эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фрадков А.Л.** Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы. М.: Наука, 1990. 296 с.
2. **Андриевский Б.Р., Стоцкий А.А., Фрадков А.Л.** Алгоритмы скоростного градиента в задачах управления и адаптации. Обзор // Автоматика и телемеханика. 1988. № 12. С. 3–39.
3. **Slotine J.-J. E., Li W.** On the adaptive control of robot manipulators // Int. J. of Robotics Research. 1987. Vol. 6, № 3. P. 49–58.
4. **Slotine J.-J. E., Li W.** Adaptive Manipulator Control: A Case Study // IEEE trans. on automatic control. 1988. Vol. 33, № 11.
5. **Путов В.В., Шелудько В.Н.** Новый подход в построении беспоисковых адаптивных систем управления нелинейными динамическими объектами с неопределенным описанием // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Автоматизация и управление. 2008. Вып. 4. С. 37–50.
6. **Путов В.В., Лебедев В.В., Путов А.В.** Адаптивные системы управления многостепенными жесткими нелинейными механическими объектами, построенные по их упрощенным моделям с мажорирующими функциями // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 10. С. 49–55
7. **Krstic M., Kanellakopoulos I., Kokotovic P.V.** Nonlinear and Adaptive Control Design. //N.Y.: John Wiley and Sons. New York. 1995. 576 p.
8. **Тюкин И.Ю., Терехов В.А.** Адаптация в нелинейных динамических системах. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 384 с.
9. **Ikhouane F.I., Krstic V.** Adaptive backstepping which parameter projection: robustness and performance// Automatica. 1998. Vol. 34, №.4., P. 429-435.
10. **Z. Cai, M.S. de Queiroz, D.M. Dawson.** A sufficiently smooth projection operator// IEEE. Transactions on Automatic Control. Vol. 51, №. 1, January, 2006.

11. **Ле Хонг Куанг, В.В. Путов, В.Н. Шелудько** Адаптивное робастное управление многостепенным электромеханическим объектом с компенсацией возмущения // межд. конф. «Автоматизированный электропривод» (АЭП 2020), г. Санкт-Петербург, 04-07 октября 2020.

Le Hong Quang, V. V. Putov, V. N. Sheledko (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg)

Adaptive Control of Rigid Multi-Stage Nonlinear Mechanical Object

The report discusses the application of the method of calculated moment, the method of majorizing functions and the method of adaptive integrator backstepping with projection algorithms to the synthesis of adaptive control systems for rigid multi-stage nonlinear mechanical objects.

П. О. СКОБЕЛЕВ
Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара

В. А. ГАЛУЗИН
Самарский государственный технический университет, Самара

А. В. ГАЛИЦКАЯ, В. С. ТРАВИН
ООО «НПК «Разумные решения», Самара

РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К РЕАЛИЗАЦИИ И АРХИТЕКТУРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКАМИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

В докладе рассматривается разработка подхода к реализации и архитектуры интеллектуальной системы управления группировками малых космических аппаратов в реальном времени, построенной на основе применения мультиагентных технологий. Приводится краткая постановка задачи планирования работы космической системы, предлагается архитектура разработанной системы, дается описание функций основных модулей, позволяющих реализовать процессы обработки заявок на съемку объектов наблюдения, поступающих в систему в реальном времени. Обсуждаются перспективы развития и применения системы.

Введение. Актуальность разработки интеллектуальной системы управления космическими системами (КС) из малых космических аппаратов (МКА) в реальном времени обусловлена в первую очередь ближайшими перспективами создания, развертывания и эксплуатации крупномасштабных разнородных группировок низкоорбитальных МКА.

В качестве примера КС нового поколения можно привести проект компании Planet Labs (более 200 действующих спутников) [1] и проект компании BlackSky Global (60 спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и 17 станций приема и управления) [2].

Целью создания таких космических систем является удовлетворение сложившихся потребностей в данных, получаемых из космоса.

Существующие системы планирования, используемые на практике для управления различными миссиями, такие как CPAW [3], flexplan [4], SOC [5] и другие, изначально строились как централизованные, иерархические, закрытые, монолитные и последовательные решения. Данные системы ориентированы, прежде всего, на пакетный режим использования, при котором заявки на съемку предварительно накапливаются, а далее разовым образом распределяются между МКА группировки при помощи традиционных комбинаторных методов, таких как методы линейного и динамического программирования, программирования в ограничениях, различных эвристик и метаэвристик [6]. В результате построение плана с использованием таких систем может иногда занимать достаточно продолжительное время (до 8–12 часов). После чего программа завершает работу и никак не учитывает новую информацию, которая стала известна в ходе или после окончания последней сессии планирования.

Однако, при этом имеющийся план уже может быть невыполним. В таком случае требуется его корректировка экспертами и специалистами, как правило, в «ручном режиме», что на практике является чрезвычайно трудоемким процессом.

Предлагаемый доклад посвящен описанию разработки интеллектуальной системы управления группировками МКА, призванной преодолеть недостатки, присущие традиционным системам планирования. Данная система построена на основе применения мультиагентных технологий [7], по принципам, которые были изложены ранее в работах [8–10].

Постановка задачи. Общую постановку задачи планирования работы КС можно представить следующим образом. Пусть имеется модель КС, описываемая входящими в ее состав множеством КА, в котором каждый КА характеризуется набором элементов орбиты и параметрами установленного на нем бортового оборудования, и множеством наземных станций приема информации (НСПИ), в котором каждая станция характеризуется географическим местоположением и параметрами установленной антенны. Для НСПИ могут быть указаны графики работы, интервалы недоступности, среднее время подготовки станции к приему информации.

Пусть задано множество заявок на съемку объекта наблюдения (ОН), которые необходимо выполнить. ОН могут быть как точечные, так и площадные. Для ОН может быть указан его приоритет, периодичность съемки и ограничения на съемку.

В рассматриваемой модели КС представлено две операции, выполняемые КА: съемка ОН и проведение сеанса связи КА с НСПИ с целью передачи полученных данных на Землю, и одна операция, выполняемая НСПИ, – получение данных с КА.

Для реализации космической съемки ДЗЗ на основе заявок, поступающих от потребителей, требуется сформировать комплексный план выполнения приведенных операций, составленный в соответствии с критерием минимизации времени доставки снимков потребителям, а также максимизации их качества.

Архитектура системы. Разрабатываемая интеллектуальная система управления группировками МКА имеет сетевую клиент-серверную архитектуру (рис. 1).

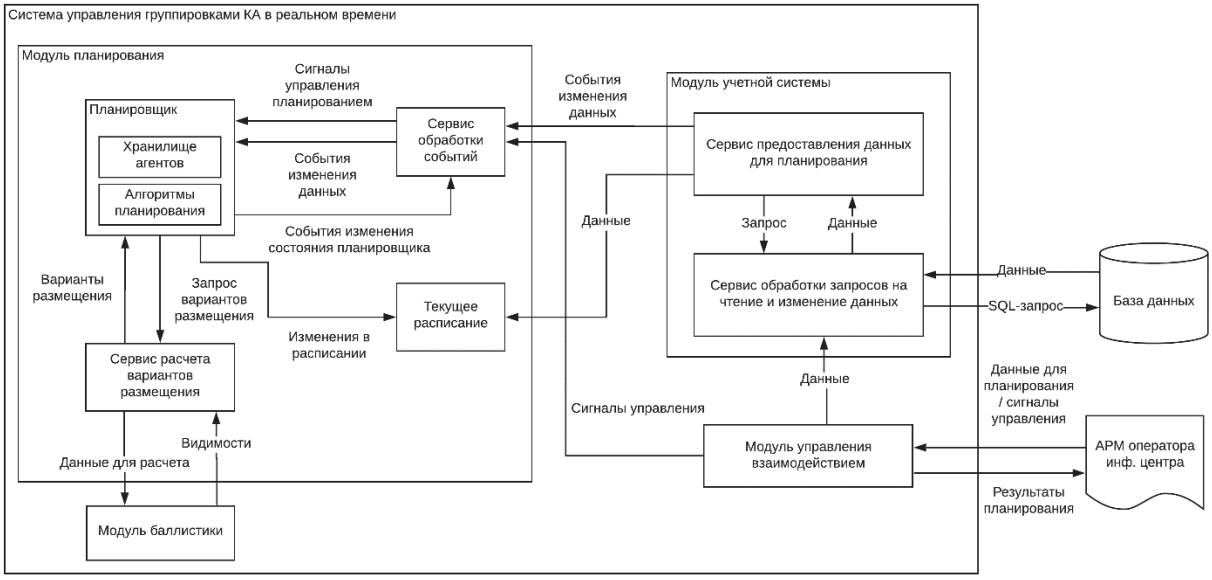


Рис. 1. Архитектура системы

Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора информационного центра представляет собой интерфейс пользователя, через который осуществляется ввод заявок, управление ходом планирования, мониторинг ресурсов, просмотр отчетов и результатов планирования.

База данных является предметно-ориентированной информационной базой данных, обеспечивающей долгосрочное хранение исходных данных и результатов планирования.

Модуль управления взаимодействием обеспечивает маршрутизацию и преобразование информационных потоков между системой и внешней средой.

Модуль учетной системы предназначен для взаимодействия других частей системы с сервером базы данных. Включает в свой состав *сервис обработки запросов на чтение и изменение данных*, а также *сервис предоставления данных планировщику*.

Модуль планирования предназначен для адаптивного построения расписания и его перестроения при внешних изменениях исходных данных. В состав *модуля планирования*, реализуемого на основе мультиагентной технологии, входят следующие основные элементы:

- *Планировщик*, включающий в свой состав *хранилище агентов* – модуль системы, аккумулирующий созданных агентов, и *алгоритмы планирования* – набор алгоритмов, отвечающих за управление ходом планирования и поведение агентов в зависимости от текущего контекста.
- *Сервис обработки событий* отвечает за взаимодействие планировщика с остальными частями системы посредством выполнения соответствующих действий в ответ на возникающие внешние и внутренние события.
- *Сервис расчета вариантов размещения* обеспечивает генерацию пространства возможных вариантов поиска по запросу планировщика. В ходе выполнения расчетов он обра-

щается к модулю баллистики для получения циклограмм видимостей КА-ОН и КА-НСПИ.

- *Текущее расписание* представляет собой объектную структуру, содержащую исходные данные для планирования и назначения определенных ресурсов на заявки, полученные в ходе планирования.

Процесс обработки заявок на съемку в системе. Кратко опишем процесс, по которому производится обработка заявок на съемку ОН, поступающих в систему. На рис. 2 представлена базовая схема данного процесса.

Рис. 2. Схема процесса обработки заявок на съемку в системе

После поступления заявок на съемку ОН в систему и получения сигнала от оператора о начале планирования, выполняется генерация задач на съемку ОН на основе поступивших заявок. При этом для каждой заявки может быть создана одна или несколько задач на съемку, в зависимости от заданной периодичности.

Когда задачи на съемку сгенерированы для всех заявок, осуществляется переход к следующему этапу – расчет вариантов размещения. Для каждой задачи при помощи метода последовательных уступок осуществляется поиск лучшего варианта размещения, а также некоторого количества несколько худших вариантов. Результатом работы алгоритма поиска является список возможных вариантов размещения, отсортированный по убыванию значения целевой функции (ЦФ), на первом месте расположен вариант размещения в точке глобального оптимума ЦФ. После того как варианты возможного размещения рассчитаны для всех задач, начинается этап бесконфликтного планирования.

На этапе бесконфликтного планирования при помощи жадного алгоритма оптимизации строится начальное допустимое расписание. Задачи размещаются на первом доступном варианте из списка, полученного на предыдущем этапе, на котором отсутствуют конфликты с другими задачами. Полученное на этом этапе решение покажет основные «узкие места» рассматриваемого расписания и станет опорной точкой для дальнейших улучшений. Бесконфликтный этап завершается, после того как для каждой задачи была произведена попытка ее размещения.

На этапе проактивного планирования каждой задаче ставится в соответствие ее агент, который пытаются улучшить значение своей целевой функции и встать на более выгодный для него вариант, предлагая конфликтующим с ним задачам найти другие интервалы для размещения. Эффективность каждой перестановки оценивается с помощью изменения значений функций удовлетворенности агентов, участвующих в ней. Запуск агентов на проактивность осуществляется итерационно до тех пор, пока во время очередной итерации планирования ни один из агентов задач не смог занять более выгодной для себя позиции, что означает достижение точки равновесия при переговорах и возможность выдачи готового решения.

При поступлении в систему событий об изменении исходных данных для планирования вновь запускается проактивная фаза.

Заключение. Разработанный прототип интеллектуальной системы управления группировками КА в реальном времени продемонстрировал применимость предлагаемого мультиагентного подхода к решению задач управления группировками КА в реальном времени для повышения эффективности использования ресурсов КС. Общее время расчета 20 тыс. объектов наблюдения указанным методом составляет около 3 часов.

Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение алгоритмов планирования путем введения виртуального рынка и добавления более глубокого анализа текущего контекста планирования для сокращения перебора возможных вариантов. Кроме того, планируется введение в интеллектуальную систему онтологии космической системы наблюдения с целью обеспечения более гибкой и адаптивной возможности настройки применяемых правил. Все эти действия в конечном итоге позволят перейти от прототипа к реальной системе управления, масштабируемой для большого числа МКА в группировках, а в перспективе – и для создания умных груп-

пировок в космосе, где каждый аппарат сам принимает решения и координирует их с себе подобными и станциями приема-передачи информации.

Работа подготовлена на основе материалов научных исследований в рамках Госбюджетной темы Самарского федерального исследовательского центра РАН, Института проблем управления сложными системами РАН № АААА-А19-119030190053-2 «Разработка и исследование методов и средств аналитического конструирования, компьютерного представления знаний, вычислительных алгоритмов и мультиагентных технологий в задачах оптимизации процессов управления сложными системами».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Афанасьев И., Кучейко А.** Один большой и 103 маленьких. Индия выполнила рекордный по числу полезных нагрузок запуск // Новости космонавтики, 2017, Т. 27, № 4, С. 30-36.
2. **Кучейко А.** Индийский пуск в интересах ДЗЗ и не только // Новости космонавтики, 2016, Т.26, № 11, С.57-58.
3. Orbit Logic CPAW, Collection Planning and Analysis Workstation [Электронный ресурс] – URL: http://www.orbitlogic.com/collection-planning-and-analysis-workstation.html (дата обращения 15.07.2020)
4. Flexplan [Электронный ресурс] – URL: https://www.gmv.com/en/Products/flexplan/ (дата обращения 15.07.2020)
5. Software applications for mission planning [Электронный ресурс] – URL: https://www.dlr.de/rb/en/desktopdefault.aspx/tabid-6816/4256_read-6303/ (дата обращения 15.07.2020)
6. **Карсаев О.В.** Обзор традиционных и инновационных систем планирования миссий космических аппаратов // Труды СПИИРАН, 2016, 5(48), С. 151-181.
7. **Скобелев П.О.** Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление, 2010, № 12, С.33-46.
8. **Соллогуб А.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Царев А.В., Степанов М.Е.** Модели сетецентрических задач планирования и управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов при решении задач дистанционного зондирования Земли // Информационно-управляющие системы, 2012, №1(56), С. 34-38.
9. **Belokonov I., Skobelev P., Simonova E., Travin V., Zhilyaev A.** Multiagent planning of the network traffic between nanosatellites and ground stations // Procedia Engineering: Scientific and Technological Experiments on Automatic Space Vehicles and Small Satellites, 2015, №104, P. 118-130, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.04.103.
10. **Skobelev P., Simonova E., Zhilyaev A., Travin V.** Multi-Agent Planning of Spacecraft Group for Earth Remote Sensing // In: Borangiu T., Trentesaux D., Thomas A., McFarlane D. (eds) Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing. Studies in Computational Intelligence, 2016, Vol. 640, P. 309-317, DOI: 10.1007/978-3-319-30337-6_28.

P.O. Skobelev (Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute for the Control of Complex Systems RAS, Samara), V.A. Galuzin (Samara State Technical University, Samara), A.V. Galitskaya, V.S. Travin (SEC «Smart Solutions», Samara)

Development of Implementation Approach and Architecture of Intelligent System for Real-time Management of Groups of Small Space Vehicles

The paper describes development of implementation approach and architecture of an intelligent system for real-time management of groups of small spacecrafts, built on the basis of multi-agent technologies. It gives a brief problem statement for planning operation of the space system, presents the architecture of the developed system and describes functions of the main modules which help process applications for shooting observation objects entering the system in real time. Prospects for development and application of the system are also discussed.

П. О. СКОБЕЛЕВ
Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара

Д. Е. НОВИЧКОВ, С. П. ГРАЧЕВ
Самарский государственный технический университет, Самара

АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОСНОВЕ БАЗ ЗНАНИЙ И МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Планирование текстильного производства является сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать большое количество факторов: важность и сроки заказов, загрузка оборудования, особенности технологических процессов крашения и ряд других. В докладе предлагаются принципы построения и реализации интеллектуальной системы управления текстильным производством на основе баз знаний и мультиагентных технологий. Дается постановка задачи планирования и развивается мультиагентный подход к ее решению с использованием базы знаний на основе онтологий для формирования правил управления производством, используемых агентами для составления расписаний. Создана базовая версия системы, которая внедрена на производстве. Показаны и обсуждаются достигнутые результаты. Показываются перспективы развития системы для повышения качества планирования и поэтапной замене труда людей по планированию производства и контролю исполнения планов.

Введение. Планирование текстильного производства является сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать большое количество факторов: важность и сроки заказов, загрузка оборудования, особенности технологических процессов крашения и другие [1]. Процесс производства включает этапы: подготовка ткани (суровья), приготовление красителя, крашение, отделка покрашенной ткани и инспекция результатов, настройка, разогрев и охлаждение оборудования, чистки разной продолжительности и т. п.

В ходе управления производством для каждого нового заказа указанные операции должны быть сформированы в связанные цепочки, которые зависят от существа заказа, в общем пуле ресурсов предприятия, причем с учетом планов исполнения уже ранее принятых и запущенных в производство заказов. Планирование производства осуществляется на горизонте 1–4 недели вперед, но при этом необходимо адаптивное, оперативное и гибкое изменение плана вследствие большого потока турбулентно возникающих событий, например, появления новых, срочных заказов, задержек при исполнении плана, выявления брака или выхода оборудования из строя.

Постановка задачи. На практике сейчас построение плана производства по каждому заказу обычно происходит на планерках с участием диспетчеров и представителей разных цехов.

Планирование выполняется в ручном режиме с горизонтом планирования в одну неделю.

Можно утверждать, что процесс построения плана – это поиск баланса интересов («консенсуса») между специалистами разных подразделений и в условии имеющихся у них ограничений и предпочтений, при чем каждый из которых часто старается максимизировать свою целевую функцию, но в конечном счете идет на уступки.

Вместе с тем, в ходе этого процесса могут быть затронуты сразу несколько других, ранее распланированных заказов, а также производственных участков, что сразу многократно усложняет решаемую задачу.

Трудный поиск согласия часто выражается в том, что создаваемый план содержит компромиссы в части преодоления ограничений и допуска отклонения от регламента, что обычно базируется на личных знаниях и опыте диспетчеров, который нигде и никогда не был формализован и нет ни одной инструкции, которая бы содержала выписанные правила о том, как же планируется производство и какие правила можно нарушать, а какие – категорически нет.

Этот процесс, помимо эмпирики в части оптимизации производства, порождает и целый ряд рисков: вероятность нарушения гарантийных обязательств, возможность выхода оборудования из строя, брак при производстве, получение травм рабочими и т. д.

Автоматизированное планирование для управления производством призвано извлечь и объективизировать эти неформализованные знания из «головы» специалистов-диспетчеров и производственников, сократить сложность и трудоемкость ручного управления, визуализировать и отслеживать указанные риски и снизить вероятность их возникновения за счет применения формализованных правил, регламентирующих производство.

В первом приближении задача такого автоматизированного планирования текстильного производства может состоять в распределении большого набора заказов по заданному набору доступного оборудования и может формулироваться скорее как задача удовлетворения ограничений, чем оптимизации, поскольку еще далеко не все критерии удается выявить. Каждый заказ описывается набором характеристик: артикул ткани, цвет (гамма, интенсивность), длина, желаемые сроки запуска в производство и выпуска, красители. Оборудование бывает разных типов: линии крашения (периодические и непрерывные), линии подготовки и линии завершения, а также участки инспекции. При этом каждый вид оборудования имеет и свой специфический набор технологических операций. Каждая единица ограничена пропускной способностью и имеет определенное состояние в начале работы, в частности, цвет последнего выполненного заказа и дата последней чистки оборудования [1].

Основная сложность процесса построения плана текстильного производства заключается в том, что набор операций не задан жестко в начале планирования, а формируется динамически, в зависимости от порядка заказов и применяемых правил, а также от назначенного оборудования. Например, при переходе от темного заказа к более светлому необходимо добавление операции чистки; длительность этой операции зависит от гаммы и интенсивности заказа. Аналогичные операции могут возникать при изменении типов красителей, при изменении состава ткани и т.д. Все правила разделяются на несколько видов: правила колористики и проб, правила основных и промежуточных чисток, правила приоритизации заказов и правила маршрутизации.

При этом указанные правила еще и могут конфликтовать между собой, что предложено на первом этапе решать через приоритеты правил, которые сможет задавать технолог.

Предлагаемое решение. В работе предлагается построение интеллектуальной системы управления текстильным производством на основе баз знаний и мультиагентных технологий. Мультиагентный подход предлагается для построения расписаний как «устойчивых неравновесий» для контролируемого поиска баланса многих интересов, гибко и быстро адаптируемого по событиям [2]. База знаний на основе онтологий используется не только в узком смысле для построения формализованной модели знаний предметной области в виде семантической сети классов понятий и отношений, но и задания логических правил формирования планов, которые используются агентами для составления расписаний.

При этом у каждой значимой сущности мира текстильного производства появляется специфический автономный программный объект – агент, способный взаимодействовать с другими агентами, а правила планирования описываются в базе знаний, к которой у агентов есть доступ, чтобы в зависимости от ситуации выбрать нужные правила. Все экземпляры сущностей находятся в специально выделенной области – сцене мира предприятия текстильного производства, которая отражает текущее состояние объектов внешнего мира и реализует для агентов функции доступа к данным.

Для создания рассматриваемой системы предложено и реализовано 4 вида классов агентов: агент заказа, агент оборудования, агент правила, агент сцены, их описание приведено в таблице.

Каждый агент имеет свои целевые функции и может обмениваться сообщениями с другими агентами, моделируя процессы аукционно-подобных переговоров на виртуальном рынке.

Разберем процесс таких переговоров на упрощенном примере крашения одного заказа. В таком процессе участвуют агент сцены, агент заказа, оборудования крашения и оборудования приготовления красителя (красковарки). Изначально, агент сцены сортирует заказы в соответствии с их приоритетом на основе правил, заложенных в базу знаний системы. Далее он отправляет последовательные сообщения заказам с командой на запуск планирования. Агент заказа формирует упорядоченный список производственных линий, на которых он может быть выполнен, после чего пробует запланироваться на наиболее предпочтительной линии. Для этого он отправляет сообщение агенту нужного оборудования, который при получении сообщения производит анализ своего уже имеющегося расписания. Если места в расписании нет, то

он может сразу ответить отрицательно или попытаться переместить или даже выместить уже размещенные заказы. После определения возможного временного интервала агент красильного оборудования отправляет сообщение агенту красковарки с целью выяснить возможные дату и время готовности красителя, именно оно будет началом крашения заказа. Агент оборудования отправляет сообщение агенту заказа-инициатора, который может принять полученное расписание или же отменить изменения, если они не подходят по причине слишком позднего завершения заказа, после чего процесс продолжается до наступления состояния, когда ни один агент не может улучшить построенное расписание (достигнуто конкурентное равновесие).

Таблица

Описание базовых классов агентов

Тип агента	Ограничения	Целевые функции
Агент оборудования	Оборудованию необходим резерв времени на планово-предупредительные ремонты, отступления от регламента влекут риски брака заказов и поломки оборудования.	Равномерная загрузка, минимизация простоев
Агент заказа	Большие заказы могут выполняться на разных линиях, но это может увеличить риск брака. Характеристики заказа влияют на его приоритет, при этом высокоприоритетные заказы могут "притянуть" к себе в расписание заказы низкоприоритетные.	Выполнение заказов как можно раньше, расположение в расписании рядом со сходными заказами, выполнение на наиболее подходящем оборудовании
Агент правила	Правила могут быть жесткими (т. е. выполняться всегда) и мягкими (т. е. указывать на пожелания, которые можно обойти).	Выполнение правил как можно строже
Агент сцены	Служебный агент, который координирует деятельность остальных агентов.	Повышение целевых функций всех агентов системы

Реализация системы. Предлагаемая система реализуется как «умная надстройка» над уже имеющейся системой 1С производства, реализующей учетные функции. Основными сервисами реализованной системы являются сервис взаимодействия с пользователем, сервис базы знаний, сервис планирования и сервис хранения данных в базе данных. Сервис взаимодействия реализует графический интерфейс, встраиваемый в стандартные интерфейсы системы 1С и доступный через веб-браузер; сервис базы знаний – хранит понятия и отношения для описания ситуации, а также правила принятия решений; сервис планирования осуществляет построение плана на основании поступивших к нему запросов; сервис базы данных позволяет сохранять найденные расписания и хранить исходные данные и характеристики расписаний.

Взаимодействие сервисов реализовано через REST-API, данные передаются в формате JSON: это позволяет минимизировать трафик и сделать данные более читаемыми, что повышает удобство отладки. У сервиса планирования при таком подходе есть два источника данных: оперативная информация из 1С (список заказов, состояние оборудования) и данные из базы знаний (правила планирования). Правила представлены в виде сущностей определенного класса с динамическим набором атрибутов и семантической связью с другими объектами. Динамический набор атрибутов означает, что у сущностей даже одного класса набор атрибутов может различаться, это позволяет менять и создавать правила без внесения изменений в программный код системы. Связь с другими объектами через отношения позволяет упростить агентам поиск по семантической сети, что повышает скорость работы и наглядно визуализировать логику работы агентов и использование ими правил принятия решений.

Выходная информация системы – это построенный план производства, включающий перечень временных интервалов с указанием выбранных технологических операций для каждого заказа и единицы оборудования: от включения и разогрева – до охлаждения и выключения.

В системе сохранена возможность ручной интерактивной корректировки плана пользователем: изменение сроков выполнения заказов или назначение оборудования на заказ, которое реализовано за счёт механизма базовых маршрутов: у каждого заказа может быть желаемое оборудование, которое задаёт пользователь. Если пользователь не указал маршрут, базовый маршрут назначается автоматически на основе статистических данных. Такой подход позволяет учесть историю сложившихся процессов и трудно формализуемые правила, например, если какая-то производственная линия подходит для определённых артикулов и цветов лучше

остальных, а причины этого не установлены или слишком частные, эта линия будет выбрана просто на основе статистики.

Первые результаты. Разработанная базовая система была внедрена и позволила значительно снизить время на подготовку плана и его корректировку: построение плана на одну неделю в среднем занимает меньше минуты для примерно 100 заказов. Ручное формирование плана при аналогичном количестве заказов и прочих тех же условиях может занимать у специалистов с опытом до 2 дней. Система стала также новой основой для реализации функциональности моделирования и сценарного анализа «что-если», позволяя тестировать и оценивать эффективность использования различных наборов заказов, оборудования, сырья и красителей, прогнозировать последствия вывода оборудования из работы, например, для проведения планово-предупредительных ремонтов и обслуживания.

Заключение. Разработана принципы построения и реализована базовая версия интеллектуальной системы управления текстильным производством на основе баз знаний и мультиагентных технологий, которая значительно минимизирует человеческий фактор при решении задачи планирования. Использование базы знаний позволяет определять семантику предметной области, которая делает производственные планы реалистичными, даже если они не являются 100% оптимальными в математическом смысле, т. к. удовлетворяется большое число ограничений и находится баланс между разными требованиями. Кроме того, список правил в базе знаний может расширяться с минимальными изменениями в исходном коде системы или вообще без программирования. За счёт такого подхода качество планирования в системе может непрерывно повышаться в процессе эксплуатации за счет добавления новых выявляемых правил самими диспетчерами, технологами и другими специалистами.

Дальнейшие направления развития системы связаны с подключением новых цехов и построением экономической модели, в которой целевая функция планирования может быть основана на интегральном стоимостном критерии, позволяющем объединить различные факторы: приоритеты заказов, отступления от регламента, перегрузку оборудования и т.д.

Работа подготовлена на основе материалов научных исследований в рамках Госбюджетной темы Самарского федерального исследовательского центра РАН, Института проблем управления сложными системами РАН № АААА-А19-119030190053-2 «Разработка и исследование методов и средств аналитического конструирования, компьютерного представления знаний, вычислительных алгоритмов и мультиагентных технологий в задачах оптимизации процессов управления сложными системами».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шкробышева В.И., Быков Р.А., Щитова Н.П.** Современное оборудование для отделки текстильных материалов. Иваново, Иван. гос. хим.-технол. ун-т. 2008. 80 с.
2. **G. Rzevski, P. Skobelev**. “Managing complexity”, WIT Press, London-Boston, 2014. 216 p.

P.O. Skobelev (Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute for the Control ol CompJex Systems RAS, Samara), D.E. Novichkov (Samara State Technical University, Samara), S.P. Grachev (Samara State Technical University, Samara).

Development of a Smart System for Textile Fabric Dyeing Based on Knowledge Bases and a Multi-agent Technology

The planning of textile fabric dyeing production process is a complex problem, that requires to consider a large amount of influencing factors: the importance and timing of orders, equipment loading, features of dyeing technological processes and a number of others. The report proposes the principles of building and implementing an intelligent textile production management system based on knowledge bases and multi-agent technologies. The formulation of the planning problem is given and a multi-agent approach to its solution is developed using a knowledge base based on ontologies to form production control rules used by agents for scheduling. A basic version of the system has been created and implemented in production, the results achieved are shown and discussed. The prospects for the development of the system are shown to improve the quality of planning and to gradually replace the work of people in planning production and monitoring the execution of plans.

Т. М. КОСОВСКАЯ
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

ВЫДЕЛЕНИЕ ИЗОМОРФНЫХ ПОДФОРМУЛ КАК СРЕДСТВО ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛОГИЧЕСКОЙ ОНТОЛОГИИ

Рассматривается способ построения логической онтологии для сложных структурированных объектов, описания которых заданы на языке исчисления предикатов. Кратко описывается алгоритм выделения подмножеств объектов, обладающих одинаковыми свойствами, и установления их взаимного расположения. Для построения такой онтологии использован алгоритм выделения наибольшей подформулы, изоморфной подформулам всех описаний объектов из класса.

Введение. Понятие онтологии как раздела философии существует с античных времён. При этом в философии под онтологией понимают абстракции, принимающие во внимание одни признаки предметов (или отношения между частями этих предметов) и игнорирующие другие. С развитием вычислительной техники и информатики этот термин был перенесён на построение подробной формализации некоторой области знаний, учитывающей взаимосвязь и структуру исследуемых объектов. Создание онтологии предметной области является одним из направлений представления знаний для использования их в системах искусственного интеллекта и извлечения знаний из баз данных [2, 3].

Для математика онтология – это ориентированный граф, вершины которого определяют некоторые понятия (классы объектов). Если дуга (N_1, N_2) соединяет два понятия N_1 и N_2, то все объекты, входящие в понятие N_2, входят также и в понятие N_1.

Под логической онтологией обычно понимают онтологию над сложными структурированными объектами. Элементы таких объектов обладают заранее заданными признаками и находятся в заранее заданных отношениях. При этом для всех объектов, входящих в одно понятие, найдётся подмножество его элементов, удовлетворяющее одной и той же формуле.

Удобным языком для описания таких объектов является язык исчисления предикатов [4]. В [5] описан алгоритм выделения формулы, изоморфной подформулам описаний множества объектов. Этот алгоритм является базовым для создания логической онтологии.

В настоящей работе рассматривается следующая процедура построения логической онтологии.

Дано множество сложных структурированных объектов, описания которых представлены в виде элементарных конъюнкций предикатных формул, задающих свойства элементов объектов и отношения между ними. Это множество задаёт исходное понятие для логической онтологии.

Для каждого множества объектов, задающего уже построенное понятие онтологии, требуется выделить максимальные формулы, являющиеся (с точностью до имён переменных) подформулами описаний группы объектов из этого понятия. Множества объектов, удовлетворяющие этим подформулам, задают новые понятия логической онтологии, являющиеся дочерними по отношению к тому, из которого они получены.

Предлагаемый доклад посвящен описанию основных определений и изложению схемы алгоритма, позволяющих реализовать только что описанную процедуру построения логической онтологии.

Основные определения. Прежде, чем дать постановку задачи, необходимо сформулировать основные определения.

Определение 1. Две элементарные конъюнкции атомарных формул исчисления предикатов $P(a_1,...,a_m)$ и $Q(b_1,...,b_m)$ называются **изоморфными**, если существуют такая элементарная конъюнкция $R(x_1,...,x_m)$ и подстановки аргументов $a_{i1},..., a_{im}$ и $b_{j1},..., b_{jm}$ формул $P(a_1,...,a_m)$ и $Q(b_1,...,b_m)$ соответственно вместо всех вхождений переменных $x_1,...,x_m$ формулы $R(x_1,...,x_m)$, что результаты этих подстановок $R(a_{i1},..., a_{im})$ и $R(b_{j1},..., b_{jm})$ совпадают с формулами $P(a_1,...,a_m)$ и $Q(b_1,...,b_m)$ соответственно с точностью до порядка литералов.

По сути дела для изоморфных формул существуют такие перестановки их аргументов, что они задают одно и то же отношение между своими аргументами.

Определение 2. Элементарная конъюнкция называется **максимальной формулой, изоморфной подформулам двух заданных элементарных конъюнкций**, если она изоморфна некоторым подформулам этих элементарных конъюнкций, но после добавления в неё любого литерала она не изоморфна ни одной подформуле хоть одной из них.

Определение 3. **Наибольшим общим свойством** элементов из множества N называется наибольшая по количеству литералов формула, для которой в каждом описании объекта из N имеется изоморфная подформула.

Постановка задачи.

Дано множество N_0 составных структурированных объектов вида $\omega=\{\omega_1,...,\omega_t\}$, на элементах которых заданы предикаты $p_1,..., p_n$, задающие свойства его элементов и отношения между ними. Описание объекта $S(\omega)$ – элементарная конъюнкция всех истинных на ω атомарных формул с предикатами $p_1,..., p_n$.

Требуется выделить из множества N_0 (возможно пересекающиеся) подмножества $N_1,...,N_m$ и построить ориентированный граф, у которого вершина с нулевым заходом помечена множеством N_0 и соответствует множеству неизоморфных формул, каждая из которых изоморфна некоторым описаниям объектов из N_0.

Если из вершины N_k выходят дуги к вершинам, помеченным множествами $N_{k1},...,N_{kr}$, то

- N_k является объединением множеств $N_{k1},...,N_{kr}$;
- для каждого $i=1,...,r$ каждая формула в описании объектов из N_{ki} изоморфна одной из формул в описании N_k, т.е. объекты из N_{ki} обладают всеми свойствами, общими для всех объектов из N_k;
- если $i \neq j$, то наибольшие общие свойства объектов из N_{ki} и N_{kj} различны.

Алгоритм решения задачи. Для решения этой задачи можно воспользоваться алгоритмом выделения максимальной формулы, изоморфной подформулам двух элементарных конъюнкций [5, 6]. Ниже посредством $\bar{x}$ обозначается список переменных в формуле.

1. Для каждой пары объектов ω^i и ω^j $(i \neq j)$ из множества N_0 выделяем максимальную формулу $Q^1_{ij}(\bar{x}^1_{ij})$, изоморфную подформулам элементарных конъюнкций $S(\omega^i)$ и $S(\omega^j)$. Если среди выделенных максимальных формул имеются изоморфные, то оставляем только одну из них и перенумеровываем эти формулы без повторений $P^1_1(\bar{x}^1_1)$, ... , $P^1_{n1}(\bar{x}^1_{n1})$. Из вершины, помеченной N_0, проводим ориентированные ребра к вершинам, помеченным $P^1_1(\bar{x}^1_1)$, ... , $P^1_{n1}(\bar{x}^1_{n1})$.
2. Повторяем при $l = 2, ..., L$ (процесс завершится, так как на каждой итерации длины подформул уменьшаются) выделение максимальных формул, изоморфных подформулам для пар $P^{l-1}_i(\bar{x}^{l-1}_i)$ и $P^{l-1}_j(\bar{x}^{l-1}_j)$, получив формулы $Q^l_{ij}(\bar{x}^1_{ij})$.
   - Если среди выделенных максимальных формул имеются изоморфные, то оставляем только одну из них и перенумеровываем эти формулы без повторений $P^l_1(\bar{x}^1_1)$, ... , $P^l_{nl}(\bar{x}^l_{nl})$.
   - Из вершин, помеченных $P^{l-1}_i(\bar{x}^{l-1}_i)$ и $P^{l-1}_j(\bar{x}^{l-1}_j)$, проводим ориентированные рёбра к вершине, помеченной формулой $P^l_k(\bar{x}^l_k)$, изоморфной подформулам формул $P^{l-1}_i(\bar{x}^{l-1}_i)$ и $P^{l-1}_j(\bar{x}^{l-1}_j)$.
   - Если среди выделенных максимальных формул имеется изоморфная ранее выделенной, то вершину, соответствующую ранее выделенной максимальной формуле, «склеиваем» с вновь выделенной (вместе с рёбрами, ицидентными этой вершине).

Отметим, что при выполнении «склейки» невозможно возникновение «порочного круга», при котором вершина, полученная в результате «склейки», находится в ориентированном цикле. Действительно, пусть «склеиваются» вершины, соответствующие элементарным конъюнкциям $P^{l+1}_k(\bar{x}^{l+1}_k)$ и $P^{l'}_{k'}(\bar{x}^{l'}_{k'})$. Эти формулы изоморфны и, следовательно, имеют одинаковую длину. При похождении вдоль ориентированного пути длины элементарных конъюнкций убывают, т. к. формула, соответствующая следующей вершине, изоморфна подформуле предыдущей. Следовательно, невозможен ориентированный путь между «склеиваемыми» вершинами.

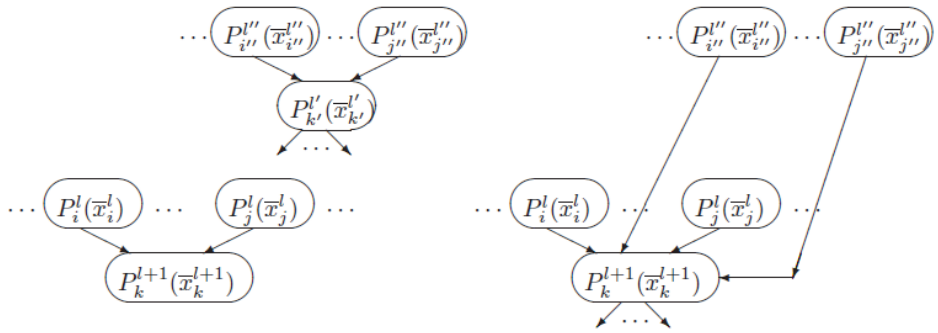


Рисунок. «Склеивание» вершин с изоморфными формулами $P^{l+1}{}_k(\bar{x}^{l+1}{}_k)$ и $P^{l'}{}_{k'}(\bar{x}^{l'}{}_{k'})$

Заключение. Предложенный алгоритм построения логической онтологии является экспоненциально сложным. Это обусловлено тем, что задача выделения максимальной формулы, изоморфной подформулам двух элементарных конъюнкций, NP-трудна. Однако, её использование, как и использование любой другой онтологии, позволяет достаточно быстро классифицировать исследуемый объект.

Интересно рассмотреть случай многозначных предикатов, описывающих исследуемые объекты. Перевод многозначных предикатов $q(\bar{x}) = a$ в бинарные может быть осуществлён посредством введения дополнительного бинарного предиката $p(\bar{x};a)$ с дополнительным аргументом a. Проблема состоит в том, что дополнительный аргумент, в отличие от аргументов $\bar{x}$, не является переменной для элемента объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Natalya F. Noy and Deborah L. McGuinness.** Ontology Development 101: A Guide to Creating Your Firt Ontology // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
2. **Бениаминов Е.М.** Некоторые проблемы широкого внедрения онтологий в IT и направления их решений. //Труды Симпозиума "ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ". М.:ИПИ РАН, 2008, с. 71-82.
3. **Дяченко О.О., Загорулько Ю.А.** Подход к коллективной разработке онтологий и баз знаний // Знания – Онтологии – Теории. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Изд-во: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 2013. С. 141–149.
4. **Kosovskaya T.** Predicate Calculus as a Tool for AI Problems Solution: Algorithms and Their Complexity. Chapter 3 in: Intelligent System. Open access peer-reviewed Edited volume. 2018. Pp. 1–20. https://www.intechopen.com/books/intelligent-system/predicate-calculus-as-a-tool-for-ai-problems-solution-algorithms-and-their-complexity
5. **Косовская Т.М., Петров Д.А.** Выделение наибольшей общей подформулы предикатных формул для решения ряда задач искусственного интеллекта // Вестник СПбГУ. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2017. Т. 13. Вып. 3. С. 250–263.
6. **Косовская~Т.М.** Подход к решению задачи построения многоуровневого описания классов на языке исчисления предикатов // Труды СПИИРАН, 2014. №~3 (34). С. 204–217.

T.M. Kosovskaya (St.-Petersburg State University, St.-Petersburg)

Isomorphous Subformules Isolation as a Means to Construct Logical Ontology

A method of constructing a logical ontology for complex structured objects, the descriptions of which are given in the predicate calculus language, is considered. An algorithm for extraction of subsets of objects with the same properties and establishing their relations is briefly described. To construct such an ontology, an algorithm for extraction the largest sub-formula isomorphic to sub-formulas of every class descriptions is used.

И. А. ПРИХОДЬКО, В. Б. ВТОРОВ, Г. В. БЕЛЬСКИЙ, Е. А. ВАСИЛЬЕВ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА

Рассмотрение возникновения хаотических явлений и их динамики является перспективным направлением исследований предсказания технических неисправностей. В работе выполнен анализ системы Лоренца на основе разложения по методу «Гусеница»-SSA. Выделены тренд, периодические и непериодическибе составляющие. Получено необходимое число главных компонент необходимых для восстановления временного ряда на основе системы Лоренца.

Введение. Известны сложные динамические системы, в которых возможны явления хаоса. Хаотические процессы встречаются в радиотехнике, электронике и объектах электроэнергетики, например [1]. В случае автоматических систем подобные явления могут вызывать поломку или дисфункцию составных частей системы. Рассмотрение возникновения хаотических явлений и их динамики является перспективным направлением исследований предсказания технических неисправностей. Предлагаемый доклад посвящен результатам численного анализа хаотических движений модели Лоренца [2], оценке возможности восстановления непериодического временного ряда на основе метода сингулярного спектрального анализа «Гусеница»-SSA (singular spectrum analysis) [3], [4].

Исследование динамической системы Лоренца со странным аттрактором.

Уравнения системы Лоренца [2]

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -\sigma(x - y), \\ \dot{y} &= -xz - y + rx, \\ \dot{z} &= -bz + xy. \end{aligned} \tag{1}$$

Обычно полагают: σ=10, b = 8/3.Тип аттрактора меняется при изменении параметра r, коэффициента Рэлея. Расчет выполнен для значения r = 22.

Задача восстановления и прогнозирования временных рядов в различных прикладных приложениях в последнее время успешно решается на основе метода «Гусеница»-SSA [5], [6]. Это метод анализа временных рядов, основанный на преобразовании одномерного ряда в многомерный с помощью однопараметрической сдвиговой процедуры, исследовании полученной многомерной траектории с помощью анализа главных компонент (сингулярного разложения) и восстановлении ряда по выбранным главным компонентам [3]. Результат применения метода – разложение временного ряда по базису, порожденному самой функцией, на простые компоненты: тренды, периодические составляющие и шум. Полученное разложение может использоваться как основа для прогнозирования ряда.

Для системы Лоренца (1) (рис. 1) с коэффициентом r = 22 характерно свойство переходного хаотического поведения. В зависимости от начальных условий в некоторый момент времени хаотические осцилляции обрываются и переходят в режим затухающих осцилляций.

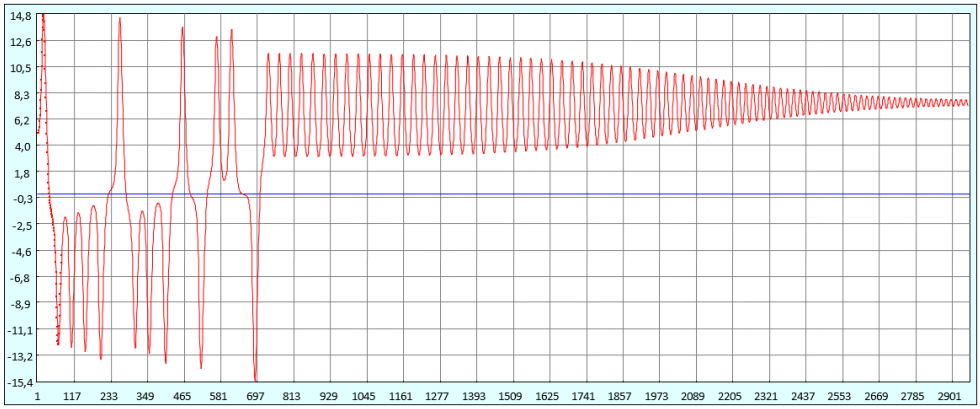


Рис. 1. Временной ряд

Первым этапом сингулярного спектрального анализа является составление траекторной матрицы. Для этого необходимо выбрать длину гусеницы, которая будет соответствовать размерности матрицы. Для решения задачи анализа исходного временного ряда рекомендуется брать длину гусеницы равной половине длины ряда или такую, которую позволяют использовать компьютерные ресурсы [3]. Для исходного временного ряда длительностью t = 2950 с длина гусеницы принята равной L = 900. Из анализа графика логарифма собственных чисел траекторной матрицы число главных компонент выбрано равным 150.

Затем необходимо выделить компоненты, относящиеся к тренду и периодической составляющей. Идентификация составляющих ряда на основе сингулярного разложения его траекторной матрицы проведена визуальным способом, на основе графического представления результатов (рис. 2, 3) и опираясь на имеющиеся теоретические сведения [3], [5].

Для выделения тренда необходимо сгруппировать собственные тройки с медленно меняющимися сингулярными векторами.1-й и 2-й векторы (рис. 2) меняются медленно, хотя в них присутствует аддитивная осциллирующая составляющая. Это объясняется неточной разделимостью ряда на тренд, периодическую составляющую и шум, когда составляющая ряда, которая задает медленно меняющуюся часть сингулярных векторов, смешивается с гармоникой [5].

Поскольку медленно меняющаяся составляющая определяет существенно больший вклад (73,285 % и 4,766 %), чем осциллирующая, 1-й и 2-й векторы относятся к трендовой группе.

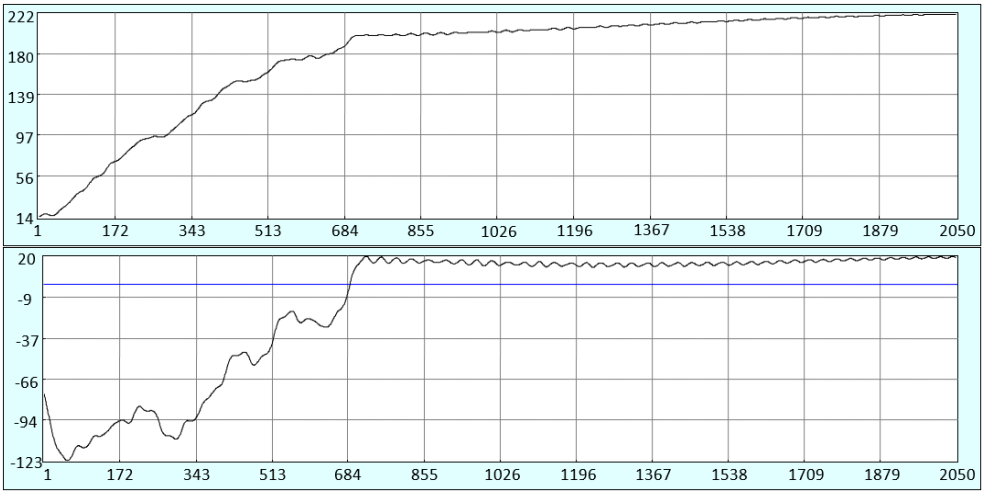
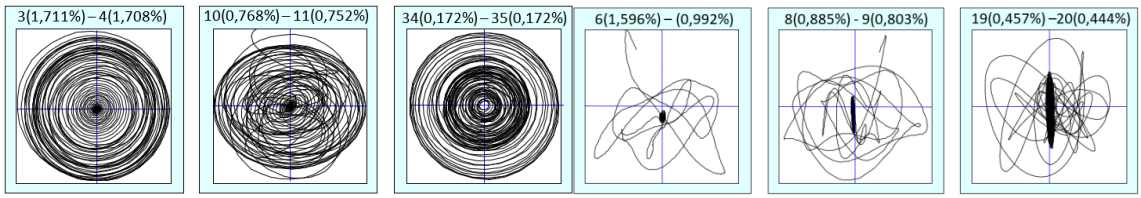


Рис. 2. Графики главных компонент

Для определения периодической составляющей используют двумерные диаграммы собственных векторов, на которых по одной оси откладываются элементы первого вектора из пары, а по другой – элементы второго вектора. В качестве примера, приведены двумерные диаграммы некоторых собственных векторов (рис. 3).



а) б)

Рис. 3. Двумерные диаграммы собственных векторов

Согласно рисунку пары собственных векторов (рис. 3*а*) 3–4, 10–11, 34–35, а также 13–14; 20–21; 22–23; 36–37; 38–39; 42–43; 49–50; 51–52; 58–59;61–62;63–64; 66–67; 68–69;70–71;72–73; 74–75; 83–84; 86–87; 107–108; 112–113; 115–116; 122–123; 125–126; 127–128;130–131; 134–135; 137–138;141–142;143–144; 148–149 образуют достаточно четкие спирали. Отсюда следует [3], что в ряде присутствуют гармоники, которым соответствуют эти векторы и которые могут быть отнесены к периодической составляющей.

Основные составляющие ряда – непериодические (рис. 3*б*).

Результаты восстановления временного ряда на основе аттрактора Лоренца (1), а также остатки восстановления представлены на рис. 4.

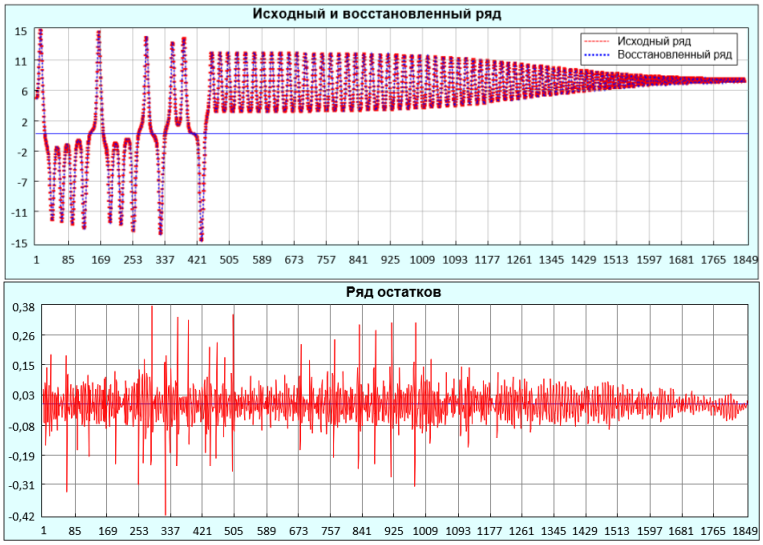


Рис. 4. Восстановление временного ряда

В работе выполнена оценка точности восстановления для различных значений длины гусеницы и числа главных компонент. Лучший результат получился в случае, если обе величины равны 980.

Заключение

Сравнение результатов анализа периодического временного ряда [6] и хаотической системы Лоренца на основе метода спектрального анализа показывает необходимость использования гораздо большего числа главных компонент во втором случае. В примере [6] применение восемнадцати – тридцати главных компонент гарантирует высокую точность прогноза, во втором случае для успешного решения задачи восстановления временного ряда на основе уравнений Лоренца минимальное необходимое число главных компонент – около 150 (рис. 4).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Демирчян К.С., Бутырин П.А., Савицки А**. Стохастические режимы в элементах и системах электроэнергетики // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1987. № 3. С. 3–16.
2. **Лоренц Э.Н**. Детерминированное непериодическое течение / В сб. Странные аттракторы. М.: Мир, 1981. С. 88–116.
3. **Голяндина Н.Э**. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учебное пособие. СПб.: ВВМ, 2004. 76 с.
4. http://www.gistatgroup.com/gus/programs.html
5. **Александров Ф.И., Голяндина Н.Э**. Автоматизация выделения трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках метода «Гусеница»-SSA // Exponenta Pro. № 3–4 (7–8). 2004. С. 54–61.
6. Minor A.S., Polyakhov N.D., Prikhodko I.A., Vorobyova E.A. Forecasting of a temporary row on the basis of the caterpillar method - SSA(2015). // Proceedings of International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2015, art. no. 7190439. P. 150–152.

I.A. Prikhodko, V.B. Vtorov, G.V. Belskiy, E.A. Vasilev, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg

Investigation of the Lorenz Dynamic System

The examination of chaotic phenomena origination and their dynamics is a promising line of investigations into technical malfunction forecast. In the paper, the Lorenz system analysis is performed on a basis of the expansion by the "Caterpillar"-SSA method. The trend, periodic and non-syclic components are selected. A necessary number of principal components for time series reconstruction on a basis of Lorenz system has been obtained.

А. В. СПЕСИВЦЕВ
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Санкт-Петербург

И. Т. КИМЯЕВ
ООО ИК «Сибинтек», Москва

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧЬЮ ПИРОЛИЗА

В докладе предлагается рассмотреть применимость оригинального подхода к созданию многокритериальных систем управления такими сложными многофакторными технологическими объектами как печи пиролиза с помощью оригинального подхода к описанию и созданию систем управления сложными производственными и технологическими комплексами, которые могут стать менее затратной альтернативой существующим на рынке «традиционным» средствам создания систем улучшенного управления технологическими процессами на основе предиктивных управляющих контроллеров.

Введение. В современной нефтехимии производство олефинов является краеугольной технологической цепочкой и источником основных «строительных блоков» – этилена, пропилена, бутена, бутадиена и бензола [1]. Устойчивость и качество работы которых определяют устойчивость, качество и экономические показатели работы всех последующих производственных переделов. Создание эффективных, но при этом экономически высокоэффективных на длительном – до 10 лет – промежутке времени систем управления многокритериальными технологическими цепочками является актуальной научно – технической задачей.

Содержательная постановка задачи

Общемировая практика показывает, что наиболее распространенной технологией для олефиновых производственных цепочек является высокотемпературный крекинг углеводородного сырья, т. н. пиролиз, который происходит в специализированных технологических агрегатах - печах пиролиза (ПП) с последующим выделением путем очистки (фракционированием) из пирогаза (ПГ) товарного этилена и сопутствующих фракций.

Конструктивно ПП представляет собой объемный стальной «короб», изнутри футерованный огнеупорными материалами, и внутри которого размещены т. н. «радиантная» и «конвекционная» камеры с установленными стальными же змеевиками для термического разложения углеводородного сырья (камера радиантная) и испарения и перегрева углеводородного сырья (камера конвекционная).

На средних и крупных производствах количество отдельных ПП может достигать 15..18 одновременно работающих единиц, устойчивость и качество работы которых определяют устойчивость, качество и экономические показатели работы всех последующих производственных переделов. При этом нужно учесть, что при работе блока ПП каждый отдельный агрегат может работать на «своём», отличном соседнего агрегата, сырье (широкая фракция легких углеводородов, бензин, газойль, нафта и пр.), что дополнительно усложняет подходы к правлению.

Т.е., олефиновый производственно – технологический комплекс представляет собой сложный, многофакторый и многокритериальный объект управления (ТОУ).

Типовыми целями управления для ПП является ведение процесса крекинга в близких к экономическим и технологическим ограничениям режимах, с извлечением максимальной прибыли от реализации продуктов и/или снизить себестоимость продукции, а именно:

- увеличить выход олефинов путем снижения потерь конечного продукта (этилена / пропилена) в возвратный продукт;
- снизить потери этилена в метан (топливный газ);
- уменьшить среднеквадратические отклонения целевых показателей качества по содержанию этилена и пропилена;
- поддерживать качественные показатели работы ПП на уровнях, не выходящих за регламентированные значения.

Достижение указанных целей возможно путем последовательного решения следующих задач управления:

1. Многопараметрическое управление подачей сырья и топливного газа:

a. общее («грубое») управление средней температурой ПГ для ее поддержания в заданном диапазоне;
b. корректирующее («тонкое») управление температурой ПГ по потокам (змеевикам) для недопущения перегрева трубопроводов;
c. выравнивание температуры ПГ по змеевикам с точностью до 1,5° С.

2. Поддержание максимально (или – минимально) допустимой температуры ПГ в зависимости от целевого продукта.

3. Минимизация содержания O_2 в дымовых газах (в нормативных пределах по разрежению в камере).

4. Плавная подача пара разбавления по режимной кривой, без резких ступенчатых перепадов соотношения «пар – сырье».

Как известно, за решение приведенных задач многокритериального управления столь сложными ТОУ отвечает специфический сегмент (класс) систем управления технологическими процессами, называемый «усовершенствованным» (СУУТП) [2]. Именно системы класса СУУТП решают задачу рутинного поддержания основных режимов ТОУ в таком состоянии, которое обеспечит его наилучшую эффективность по выбранным производственным / ценовым критериям (например, производительность или энергоэффективность).

В широко представленных на рынке программных комплексах, средствами которых на промышленных объектах реализованы системы класса СУУТП, математическим и алгоритмическим ядром является т. н. «прогнозирующий управление на основе модели» контроллер (в англоязычной среде называемый Model-based predictive control или сокращенно Model predictive control, MPC) [3].

При создании СУУТП формируется набор технологических факторов, т. н. Controled и Manipulated Variables (CV и MV соответственно), которыми изначально технологический персонал решает задачи управления пиролизом в режиме реального времени. Этими же переменными (факторами) будет оперировать и система класса СУУТП.

Несмотря на неоспоримые для современного предприятия значимость и эффективность технологий СУУТП на базе «прогнозирующей» матрицы, данные технологии имеют как ряд методологических ограничений при развертывании и поддержке, так существенную стоимость внедрения: в частности, бюджет СУУТП для комплекса ПП из 20 единиц составляет десятки млн руб. (в ценах 2015 г.).

Одним из способов обойти ограничения создания управляющих комплексов сложными ТОУ на базе «традиционных» СУУТП, а так же снизить стоимость как внедрения, так и последующего владения СУУТП, является создание интеллектуальной модели управления на основе знаний операторов-технологов [4, 5].

Практика показывает, что комплект идентифицированных CV и MV для решения заявленных выше задач управления как непосредственно человеком, так и системами класса СУУТП, является минимально необходимым.

Существующая методика построения нечеткого логического регулятора (НЛР) на основе знаний эксперта (оператора-технолога) позволяет принять факторы контроля и управления ПП в качестве базового (допускающего расширение) факторного пространства управляющей модели для ПП. При этом:

- управляемые переменные CV_n – принимаем как «входные» факторы X_n
- управляющие переменные MV_m – принимаем как «выходные» факторы Y_m.

Заключение. Современные методики синтеза нечетких логических регуляторов позволяют существенно снизить затраты на создание сложных многокритериальных систем управления, по сравнению с «традиционными» подходами в части построения систем класса СУУТП для сложных производственно-технологических комплексов нефтехимической отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дональд Л. Бардик, Ульям Л.Леффлер. Нефтехимия. М., Олимп Бизнес, 2005г.
2. Дозорцев В.М., Ицкович Э.Л., Кнеллер Д.В Усовершенствованное управление технологическими процессами (APC): 10 лет в России // Автоматизация в промышленности. 2013, №1, с.12–19.
3. Sandip Lahiri K. Multivariable predictive control. Applications in industry ISBN: 9781119243519 John Wiley & Sons Limited, 2017.

4. Спесивцев А.В., Кимяев И.Т. Усовершенствованное управление технологическими процессами (APC) на базе регулятора на нечеткой логике для сложных технологических комплексов. Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах. Россия, СПб., 23–25 июнь 2020 г.
5. Патент РФ 2204616. Способ автоматического управления обжигом никелевого концентрата в печи кипящего слоя / Салихов З.Г., Спесивцев А.В., Дроздов А.В., Кимяев И.Т, Степин В.Г. Опубл. 20.05.2003 г.

A.V. Spesivtsev (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg), I.T. Kimyaev (LLC IC “Sibintek”, Moscow)

Multi-criterial Logic-Linguistic Algorithm of the Pyrolysis Furnace Control System

The report proposes to consider the applicability of an original approach to the creation of multi-criteria control systems for such complex multifactor technological objects as pyrolysis furnaces using an original approach to the description and creation of control systems for complex production and technological complexes, which can become a less costly alternative to existing ones. The market for “traditional” means of creating systems for improved control of technological processes based on predictive controllers.

К. АРТЕМОВ, С. А. КОЛЮБИН
Университет ИТМО, Санкт-Петербург

УПРАВЛЕНИЕ КОЛЛАБОРАТИВНЫМИ РОБОТАМИ В ДИНАМИЧЕСКОМ ОКРУЖЕНИИ ПО ДАННЫМ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

В докладе рассматривается задача планирования траекторий и управления движением для коллаборативных манипуляционных роботов в динамическом окружении по данным системы технического зрения. Ключевым результатом является алгоритм планирования траектории и управления движением в реальном времени на основе метода потенциальных полей в условиях действия на робота внешних сил. Апробация полученных результатов проводилась посредством компьютерного моделирования на примере манипулятора KUKA iiwa.

Введение. Коллаборативные роботы предназначены для работы совместно с людьми. Соответственно, для них актуальной является задача безопасного функционирования с избеганием столкновений с препятствиями в динамическом окружении, что требует от системы управления робота возможности планирования траектории движения в режиме реального времени, а также использование регуляторов по импедансу на основе данных различных сенсоров.

Предлагаемое в докладе решение опирается на результаты, представленные в работах [1] и [2]. В работе [1] был предложен метод управления с использованием компьютерного зрения, в работе [2] – метод планирования траектории на основе потенциальных полей. Основной результат представляемой работы заключается в интеграции метода визуального сервоуправления и планирования траектории с регулятором по импедансу в рамках единой системы управления. Метод синтеза динамических регуляторов совместно с методом визуального управления был представлен в [3]. Таким образом, обеспечивается следование рабочего инструмента манипуляционного робота за целевым объектом, находящимся в поле зрения установленной на нем видеокамеры, с отклонением от рассчитанной траектории движения пропорционально внешнему силовому воздействию.

Постановка задачи. Требуется управлять коллаборативным манипуляционным роботом с избыточным количеством степеней свободы и закрепленной на его последнем звене видеокамерой, в условиях, когда в рабочем пространстве робота возможны неизвестные стационарные и подвижные препятствия.

Математическая модель объекта управления имеет вид

$$M(q)\ddot{q} + N(q,\dot{q}) + J^T(q)f_{ext} = u, \tag{1}$$

где $M(q)$ – матрица инерции робота, $N(q,\dot{q}) = C(q,\dot{q}) + g(q) + h(q,\dot{q})$, $C(q,\dot{q})$ – матрица кориолисовых и центробежных сил, $g(q)$ – вектор гравитации, $h(q,\dot{q})$ – вектор сил трения, $f_{ext} \in \mathbb{R}^6$ – вектор внешних сил и моментов, действующих на рабочий орган манипулятора, u – вектор управляющих воздействий, $q, \dot{q}, \ddot{q}$ – векторы обобщенных координат, скоростей и ускорений, $J(q)$ – матрица Якоби манипуляционного робота, выраженная относительно рабочего инструмента. Внешняя сила f_{ext} может быть измерена посредством датчика силы либо получена ее оценка на основе измерений моментов в сочленениях.

Цель управления задается в виде

$$\|e(t,f_{ext})\| \le k\Delta(f_{ext}), \text{ для } t > T, \tag{2}$$

где $e(t,f_{ext}) = x_f(t,f_{ext}) - x(t)$ – отклонение пространственного положения рабочего инструмента робота от желаемой траектории движения, $x(t) \in \mathbb{R}^6$, $x_f(t,f_{ext}) \in \mathbb{R}^6$ – текущее и желаемое положение рабочего инструмента робота, область сходимости $\Delta(f_{ext})$ пропорциональна действию внешней силы и задаваемый разработчиком постоянный коэффициент $k > 0$, T – время переходного процесса.

Основной результат. В соответствии с [4] и с учетом f_{ext} цель управления (2) может быть обеспечена регулятором следующего вида

$$u = \hat{M}(q)\boldsymbol{\alpha} + \hat{C}(q,\dot{q})\dot{q} + \hat{g}(q) + \left[\hat{M}(q)J^{-1}(q)K_M^{-1} - J^T(q)\right]f_{ext}, \tag{3}$$

где $\boldsymbol{\alpha} = J^{-1}(q)\left[\ddot{x}_f^* - \dot{J}\dot{x} - K_M^{-1}\left(K_D(\dot{x}_f - \dot{x}) + K_P(x_f - x)\right)\right]$ учитывает результаты расчета желаемой траектории инструмента $x_f, \dot{x}_f$ и $\ddot{x}_f$ на основе метода потенциальных полей, а за счет

выбора диагональных матриц коэффициентов K_M, K_D, K_P можно варьировать податливую реакцию на внешние воздействия, $\widehat{M}, \hat{C}$ и $\hat{g}$ – оценки соответствующих матриц динамической модели (1), $\dot{J}$ – первая производная матрицы Якоби манипуляционного робота.

Планирование траектории. Планирование траектории с учетом возможных препятствий реализуется с использованием метода, основанного на потенциальных полях, где виртуальная сила складывается из притягивающей f_a и отталкивающей f_r компонент

$$f(x_f, x^*, x_0) = f_a(x_f, x^*) + \sum_k f_{r_k}(x_f, x_{o_k}). \tag{4}$$

Запишем уравнение, описывающее динамику препятствий и цели, в виде дифференциального уравнения масса-пружина-демпфер с учетом действия внешних сил

$$M_v \ddot{x}_f + K_v(x^* - x_f) + D_v \dot{x}_f + K_e f_{ext} = f_r(x_f), \tag{5}$$

где матрицы K_v и D_v – диагональные положительно определенные матрицы.

Целевой вектор положения x^* рабочего инструмента в (5), в соответствии с методом визуального сервоуправления, рассчитывается из

$$\dot{x}^* = -\lambda (LV)^+ (s - s^*), \tag{6}$$

где $s \in \mathbb{R}^{2m}$ и $s^* \in \mathbb{R}^{2m}$ – векторы текущего и желаемого положения подвижной цели в пространстве изображения видеокамеры, m – количество визуальных признаков целевого объекта, L – матрица Якоби для камеры, V – матрица преобразования скорости из системы координат камеры в систему координат рабочего инструмента, λ – положительный коэффициент.

Интегрируя (5) и выражая переменную x_f, получим желаемую траекторию движения манипуляционного робота на каждом интервале времени $t \in [t_k, t_l]$

$$x_f(t_l) = x_f(t_k) + \iint_{t_k}^{t_l} M_v^{-1}\left(f_r - K_v(x^* - x_f) - D_v \dot{x}_f\right) dt + \dot{x}_f(t_k) dt. \tag{7}$$

Для реализации алгоритма планирования траектории, необходимо учесть ограничения на скорость движения вблизи препятствий, которые могут быть заданы в форме

$$\dot{x}_f(e_f) = \begin{cases} 0.5(v - \delta)\left(1 - cos\left(\frac{e_f}{c_1}\pi\right)\right) + \delta, & e_f \geq c_1 \text{ и } e_f < c_2 \\ v_f, & e_f < c_1 \\ 0.5(v - \delta)\left(1 - cos\left(\frac{e_f - c_2}{1 - c_2}\pi\right)\right) + \delta, & e_f > c_2 \text{ и } e_f < (1 - \delta) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \tag{8}$$

где v – максимально допустимая скорость, константы c_1 и c_2 задают границы разгона и торможения, нормализованное расстояние на текущем участке траектории

$$e_f = \frac{x_f - x^*}{\|x_0 - x_f\| + \|x_f - x^*\|}. \tag{9}$$

Отсюда видно, что при возникновении физического либо виртуального контакта, алгоритм обеспечивает торможение с одновременным смещением рабочего инструмента манипулятора в направлении общего вектора силы отталкивания f_r и вектора скорости $\dot{x}_f$. Направление этого вектора определяется в зависимости от типа взаимодействия. Для случая виртуального взаимодействия, угол между векторами силы и скоростью движения рассчитывается из

$$\varphi = \arccos \frac{-f_r \times \dot{x}_f}{\|f_{ext}\| \|\dot{x}_f\|}. \tag{10}$$

Также, при приближении к препятствию, одновременно с изменением направления движения необходимо уменьшать скорость, введя для нее коэффициент масштабирования

$$k_{v,\dot{x}_f}(\varphi) = \begin{cases} 1 - k_\alpha \frac{cos(\varphi\pi) + 1}{2}, & \text{Если } \varphi \in [-\pi, \pi] \\ 1 \end{cases} \tag{11}$$

где, в свою очередь, для обеспечения плавности изменения скорости

$$k_\alpha = \begin{cases} A\left(\frac{1 - cos\left(\frac{\|f_r\|}{f_{max}}\pi\right)}{2}\right), \text{Если } \|\mathrm{f_r}\| \leq f_{max}, \\ A \end{cases} \tag{12}$$

где f_{max} – коэффициент затухания, A – положительный параметр.

Для случая реального физического взаимодействия вводится монотонно убывающая функцию, которая имеет минимум, если векторы силы и скорости движения направлены в противоположные стороны и максимум, когда направления совпадают, тогда масштабирующий скорость коэффициент имеет вид

$$k_{v,e} = g\left(f_{ext}, \dot{x}_f\right) \tag{13}$$

Таким образом, масштабирующая функция для скорости

$$k_v = min\{k_{v,e}, k_{v,\dot{x}^*}\} \tag{14}$$

Более высокие значения коэффициентов матрицы K_v могут обеспечить более быструю сходимость к заданной точке траектории, в то время как уменьшение коэффициентов ведет к более податливому движению, что является преимуществом при физическом взаимодействии робота манипулятора с объектами в его рабочем пространстве. Достичь такого поведения системы возможно введя переменную матрицу коэффициентов, которые зависят от нормализованного расстояния до цели

$$K_v\left(e_f\right) = \max\{K_{v,max}(1 - e_d)K_{v,min}\} \tag{15}$$

Результаты моделирования. Представленный алгоритм был реализован в программной среде Matlab/Simulink с использованием параметров робота KUKA LBR iiwa. Моделирование робота манипулятора производилось с использованием рекурсивного метода Ньютона-Эйлера. Параметры алгоритмов приведены ниже:

$$K_M = 0.01I_{7\times7}, K_D = 5I_{7\times7}, K_P = 10I_{7\times7}, \tag{16}$$

$$M_v = 0.01I_{6\times6}, D_v = 10I_{6\times6}, K_v = 20I_{6\times6}, \tag{17}$$

где $I_{n\times n}$ – диагональная единичная матрица, начальная конфигурация робота

$$q_0 = [0 \quad -0.78540 \quad 1.57080 \quad 0.7854 \quad -1.5708], \tag{18}$$

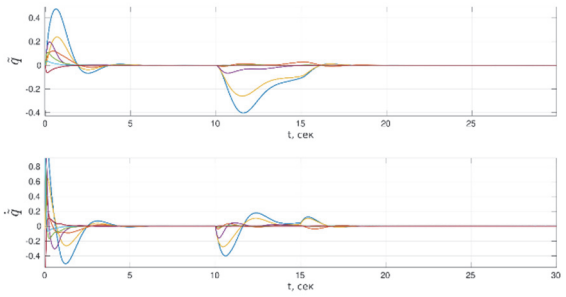


Рис. 1. Ошибка управления в конфигурационном пространстве

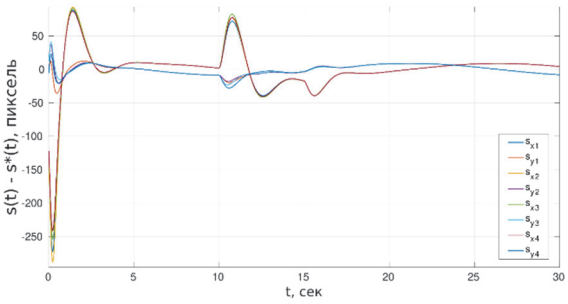


Рис. 2. Ошибка управления в пространстве изображения

Заключение. В докладе был представлен алгоритм планирования траектории в реальном времени для коллаборативного робота на основе метода потенциальных полей и с использованием управления по импедансу. Результаты моделирования (рис. 1–2) показывают, что представленный алгоритм планирования траектории и управления движением обеспечивает достижения цели управления (2) в условиях действия на робота внешних сил. Приложение предлагаемого алгоритма видится в задачах, где рабочему инструменту манипуляционного робота необходимо следить за некоторой подвижной целью, например, за деталями на вращающемся или линейном конвейере в процессе их захвата.

Работа проводилась при поддержке гранта РНФ No17-79-20341

ЛИТЕРАТУРА

1. **Chaumette F., Hutchinson S.**, Visual servo control. i. basic approaches. IEEE Robotics & Automation Magazine. 2006. Vol. 13. № 4. P. 82–90.
2. **Haddadin S., Urbanek H., Parusel S., Burschka D., Roßmann J., AlbuSchaffer A., Hirzinger G**. Real-time reactive motion generation based on variable attractor dynamics and shaped velocities. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2010. P. 3109–3116.
3. **Artemov K., Kolyubin S**. Design and Validation of Two-Stage Motion Control System for By-Air Quantum Key Distribution. Regular and Chaotic Dynamics. 2020 (принята)

4. **Vanderborght B., Albu-Schaffer A., Bicchi A., Burdet E., Caldwell D.G., Carloni R., Catalano M., Eiberger O., Friedl W., Ganesh G.**, et al. Variable impedance actuators: A review. Robotics and autonomous systems. 2013. Vol. 61. № 12. P. 1601–1614.

K. Artemov, S. Kolyubin, (ITMO University, Saint Petersburg)

Control of Collaborative Robots in a Dynamic Environment According to the Data of the Technical Vision System

The report examines the problem of trajectory planning and motion control for collaborative manipulation robots in a dynamic environment based on the data of the computer vision system. The key result is the algorithm for trajectory planning and motion control in real time based on the method of potential fields in conditions of external forces acting on the robot. The obtained results were tested by means of computer simulation using the example of the KUKA iiwa manipulator.

А. В. ГРИГОРЬЕВ, Ю. В. СЕНТЯБРЕВ, С. М. МАЛЫШЕВ
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург

Р.Р. ЗАЙНУЛЛИН
АО «НПЦ «Электродвижение судов», Санкт-Петербург

ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ НА БАЗЕ ВЕНТИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ И ВЕНТИЛЬНЫХ СТАТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Повышение технико-экономических показателей автономных электроэнергетических систем может быть обеспечено внедрением источников электроэнергии новых типов, к которым следует отнести вентильные генераторные агрегаты и вентильные статические источники. Рассмотрены структурные схемы и принцип действия вентильных источников электроэнергии. Отмечены научно-технические задачи автоматического управления, возникающие в связи с внедрением многоагрегатных автономных электростанций на их базе. Показано, что современной проблемой управления является разработка соответствующего математического, алгоритмического и программного обеспечения для автоматизации автономных электростанций с вентильными источниками электроэнергии.

Одним из основных направлений развития энергетики является повышение технико-экономических и технико-эксплуатационных показателей автономных электроэнергетических систем (ЭЭС) как стационарного базирования, так предназначенных для электроснабжения транспортных средств. Достижение указанной цели может быть обеспечено за счет внедрения источников электроэнергии с новыми физическими принципами, схемами построения и законами регулирования.

Традиционные генераторные агрегаты автономных ЭЭС строятся на базе тепловых двигателей и вращающихся с постоянной частотой электрических машин.

Структурная схема традиционного дизель-генератора представлена на рис. 1.

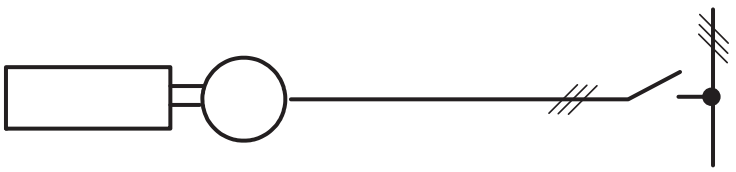


Рис. 1. Структурная схема традиционного дизель-генератора

Приводной двигатель преобразует тепловую энергию в механическую и с постоянной частотой вращения приводит в движение генератор, в качестве которого в большинстве случаев применяется синхронный генератор с электромагнитным возбуждением. Генератор вырабатывает электроэнергию с постоянными значениями напряжения и частоты.

В традиционном генераторном агрегате тепловой двигатель преобразует химическую энергию органического топлива в тепловую и затем в механическую. Электрическая машина преобразует механическую энергию в электрическую. В целях выполнения требований к качеству электроэнергии со стороны судовых потребителей выходные параметры электроэнергии генераторного агрегата (напряжение, частота) должны быть стабилизированы в заданных пределах. Указанную стабилизацию обеспечивают система автоматического регулирования частоты в тепловом двигателе и система автоматического регулирования напряжения в электрической машине.

Функциональная схема традиционного генераторного агрегата представлена на рис. 2.

Рис. 2. Функциональная схема традиционного генераторного агрегата

Основным недостатком традиционных генераторных агрегатов является существенное снижение КПД приводного теплового двигателя при работе на долевой нагрузке в режиме поддержания постоянства частоты вращения.

К новому поколению источников электроэнергии относятся вентильные генераторные агрегаты (ВГА), которые могут изменять частоту вращения при изменении нагрузки, благодаря чему существенно снижается удельный расход горюче-смазочных материалов [1].

Структурная схема вентильного дизель-генератора представлена на рис. 3.

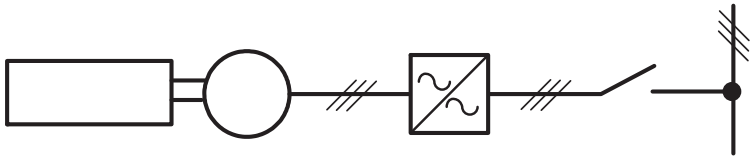


Рис. 3. Структурная схема вентильного дизель-генератора

Приводной тепловой двигатель в вентильном дизель-генераторе работает с переменной частотой вращения и приводит в движение генератор, в качестве которого может применяться синхронный генератор с электромагнитным возбуждением или с возбуждением на постоянных магнитах, асинхронный или индукторный генератор.

Генератор вырабатывает электроэнергию с переменными значениями напряжения и частоты, которая подводится к полупроводниковому преобразователю. В преобразователе электроэнергия с переменными значениями переходит в электроэнергию со стабилизированными (номинальными) параметрами.

В ВГА задачу стабилизации выходных параметров электроэнергии выполняет полупроводниковый преобразователь. Поэтому тепловой двигатель может работать с переменной частотой вращения, а электрическая машина может не иметь системы регулирования напряжения (возбуждение от постоянных магнитов). Функциональная схема вентильного генераторного агрегата представлена на рис. 4.

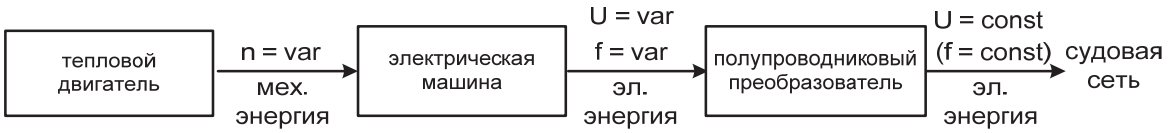


Рис. 4. Функциональная схема вентильного генераторного агрегата

Недостатком как традиционных, так и вентильных генераторных агрегатов является наличие теплового приводного двигателя и невозможность накопления электрической энергии.

Решение проблемы связано с применением статических источников электроэнергии, в которых отсутствует тепловой приводной двигатель [2]. Структурная схема вентильного статического источника электроэнергии (ВСИЭ) представлена на рис. 5.

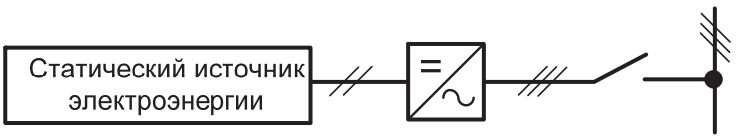


Рис. 5. Структурная схема вентильного статического источника электроэнергии

Особенностью СИЭ является то, что он вырабатывает непосредственно электрическую энергию из химической или световой. Для стабилизации выходных параметров электроэнергии применяется полупроводниковый преобразователь (инвертор, преобразователь постоянного тока), который преобразует электроэнергию постоянного тока в электроэнергию переменного или постоянного тока с номинальными параметрами [3]. Функциональная схема ВСИЭ представлена на рис. 6.

Рис. 6. Функциональная схема вентильного статического источника электроэнергии

В случае применения статического источника, способного запасать электроэнергию, в качестве полупроводникового преобразователя используется обратимый преобразователь, осуществляющий заряд аккумуляторной батареи или конденсатора.

Традиционно в составе многоагрегатных автономных электростанций применялись однотипные источники равной мощности на базе тепловых двигателей и вращающихся электрических машин – как правило, синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением. Изменение мощности генерируемой электроэнергии осуществлялось изменением количества работающих генераторов.

В современных автономных электростанциях традиционного построения с генераторными агрегатами работающими с постоянной частотой вращения задачи управления, регулирования, контроля, защиты и диагностирования решаются автоматически системами управления мощностью (Power Management System – PMS). Традиционные алгоритмы управления не применимы для автономных ЭЭС с вентильными и статическими источниками электроэнергии. Актуальной проблемой является разработка соответствующего математического, алгоритмического и программного обеспечения для систем PMS в составе электростанций с ВГА и ВСИЭ. Для решения данной проблемы необходимо учитывать особенности состава и построения автономных ЭЭС нового поколения. Современные многоагрегатные автономные электростанции с разнотипными источниками электроэнергии, включая вентильные и статические, характеризуются следующими особенностями:

- применением разнотипных приводных двигателей – дизель, газовые и паровые турбины, в том числе утилизационные; ветрогенератор, гидрогенератор,
- применением ВГА;
- применением ВСИЭ (аккумуляторных батарей на новой элементной базе, суперконденсаторов, солнечных батарей, топливных элементов и др.);
- возможностью накопления (аккумулирования) электроэнергии.

Совместное применение в составе электростанции разнотипных источников, построенных на различных физических принципах и имеющих различные характеристики, обуславливает необходимость решения следующих научно-технических задач автоматического управления [4]:

- выбора критериев управления и регулирования источников электроэнергии с учетом предъявляемых технико-эксплуатационных и технико-экономических требований;
- выбора оптимального по выбранному критерию сочетания работающих источников в зависимости от величины и характера нагрузки электростанции;
- выбора режима эксплуатации ВСИЭ, способных накапливать электроэнергию (генерирование, накопление);
- выбора способа распределения активной и реактивной мощности между источниками электроэнергии в режиме параллельной работы [5];
- обеспечения статической и динамической устойчивости при одновременной работе разных типов источников электроэнергии;
- обеспечение запуска электропотребителей, имеющих высокие пусковые токи;
- обеспечения требуемого качества электроэнергии в установившихся и переходных режимах;
- прогнозирования нагрузок и определения резерва мощности в зависимости от режима эксплуатации;
- обеспечения параллельной работы электростанции с энергетической системой бесконечной мощности;
- обеспечения надежности, живучести и безопасности эксплуатации электростанции и другое.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Григорьев А.В.** Опыт проектирования и испытаний первого отечественного судового вентильного дизель-генератора / А.В. Григорьев, Р.Р. Зайнуллин, С.М. Малышев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2019. Т. 11. № 4. С. 766–775.
2. **Григорьев А.В.** Перспективы применения статических источников электроэнергии на судах с системами электродвижения / А.В. Григорьев, Р.Р. Зайнуллин, С.М. Малышев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2020. Т. 12. № 1. С. 202–213.

3. **Романовский В.В.** Анализ схемных решений гребных электрических установок с распределенной шиной постоянного тока / В.В. Романовский, В.А. Малышев, А.С. Бежик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2019. Т. 11. № 1. С. 169–181.
4. **Саламов А.А.** Влияние возобновляемых источников энергии на режимы эксплуатации электростанций // Энергетика за рубежом. 2013. № 6. С. 33–38.
5. **Хижняков Ю.Н.** Автоматизация автономных многоагрегатных электростанций на основе нечёткого регулирования с применением нейронной технологии / Ю.Н. Хижняков, А.А. Южаков // Электротехника. 2011. № 11. С. 40–45.

A.V. Grigoryev, Yu.V. Sentyabrev, S.M. Malyshev (Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg), R.R. Zaynullin (JSC "RPC "Ship electric propulsion", Saint-Petersburg)
Automatic Control Problems in Autonomous Electric Power Plants Based on Valve Generator Sets and Valve Static Electric Power Sources.

Increasing the technical and economic indicators of autonomous electric power systems can be provided by the introduction of new types of power sources, which should include valve generator sets and valve static power sources. Structural schemes and the principle of operation of valve electric power sources are considered. The scientific and technical problems of automatic control arising in connection with the introduction of multi-unit autonomous electric power plants based on them are noted. It is shown that the modern problem of control is the development of appropriate mathematical, algorithmic and software for automation of autonomous power plants with valve power sources.

Е. В. ЮРКЕВИЧ, Л. Н. КРЮКОВА
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ – НОВЫЙ МЕХАНИЗМ В ПОСТРОЕНИИ СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Целью работы является рассмотрение методологии проектирования интеллектуальных моделей социо-киберфизических систем, учитывающих сочетание кибернетических характеристик hard-ware, soft-ware и специфику человеческого фактора разработчиков и пользователей. Для обеспечения индивидуальности конструктивных решений этих систем, согласно требованиям заказчика, в проектировании моделей использован системный анализ. Такую методологию предложено реализовать с помощью оптимизации дерева целей, определяющего вектор развития проектируемой модели по критерию важности их достижения; дерева информации определяющего структуру базы знаний, оптимизируемой по критерию стоимости получения ресурсов; дерева задач, позволяющего оптимизировать разработку социо-киберфизической системы по критериям двух построенных деревьев.

Интеллектуальность проектируемой модели определяется автоматизацией управления вектором ее развития согласно динамике полезности достижения поставленных целей. В связи с практическими ограничениями на количество имеющихся ресурсов поставлена задача оптимизации плана построения социо-киберфизической системы, дающей максимально ценные решения, при ограничениях на их стоимость. Предложенная методология применима к широкому классу задач, включая оптимальное распределение семплов в районированной выборке, решение квадратичной задачи и т. д. В рассмотренной постановке, построение социо-киберфизических систем относятся к NP-полным задачам. Пока не известен регулярный алгоритм, решающий их за разумное время, поэтому требуется выбор между точными алгоритмами, неприменимыми при размытых ограничениях, характеризующих человеческий фактор, и приближениях, позволяющих решать поставленные задачи, быстрее детерминированных или эвристических методов, но не гарантирующих строгость оптимальности найденных решений.

Введение. В настоящее время, при становлении постиндустриальной экономики, резко возрастает роль информации в обеспечении эффективности построения новых технологических конструкций [1]. Особую актуальность приобретает введение средств искусственного интеллекта в процесс создания таких разработок.

Традиционные подходы к формированию технических решений в основном базируются на принципе императивной формы данных, предоставляемых разработчиками. Сегодня требуется обеспечение индивидуальности таких решений согласно требованиям конкретного заказчика. Поэтому ориентация на динамику характеристик создаваемых средств предполагает необходимость оперативного учета человеческого фактора в виде обратной связи, корректирующей в режиме реального времени процесс создания модели.

Целью данной работы является рассмотрение механизмов организации разработок, позволяющих максимизировать возможности конструктивных решений создаваемых средств с обеспечением их устойчивости к воздействию человеческого фактора. Ставится проблема формирования социо-киберфизических систем, основанного на проектировании интеллектуальных моделей.

Механизмы проектирования интеллектуальной модели социо-киберфизической системы. В данной работе будем рассматривать модель как инструмент для решения конкретной задачи (или группы задач). Развитие программного обеспечения определило возможности введения в этот инструмент средств искусственного интеллекта. Такие средства дают возможность автоматической адаптации модели создаваемой конструкции к требованиям заказчика.

В связи с тем, что практически любую технологическую систему можно рассматривать как человеко-машинную, нами предлагается формирование методологии проектирования моделей социо-киберфизических систем (СКФС). Такая методология предполагает учет сочетания в конкретной работе особенностей формируемых технологий управления с характеристиками hard-ware, soft-ware, а также специфику человеческого фактора разработчиков и пользователей [2].

Методологически проектирование моделей СКФС предлагается строить на идеологии системного анализа [3, 4]. В данной работе такую идеологию будем формировать в виде оптимизации построения трех деревьев: дерево целей «*A*», определяющее вектор формирования проектируемой модели; дерево информации «*B*», определяющее характеристики базы знаний, используемой для работы с данной моделью; дерево задач «*C*», представляющее пути достижения целей из множества «*A*», согласно возможностям, определяемым множеством «*B*».

Дерево «*A*» будем строить, начиная с наиболее общей формулировки цели, определенной заказчиком разработки. С помощью декомпозиции такой начальной цели формируются множества подцелей, подподцелей и так далее. Этот процесс заканчивается, когда целевая формулировка каждого элемента построенного дерева будет определять требование конкретного действия. Таким образом формируется множество $A \ni \{a_1, a_2, \ldots a_i, \ldots a_n\}$. Каждому элементу дерева a_i экспертно присваивается предельная полезность. Обозначим ее коэффициентом ценности технологического решения (v_i). Ставится задача, используя схему восходящего динамического программирования, найти ветви дерева «*A*», имеющие максимальную ценность.

Согласно задаче проектирования модели СКФС строится дерево «*B*». Его архитектура повторяет дерево «*A*». Дерево «*B*» должно определять эффективность использования имеющихся и требуемых ресурсов. В связи с их разнородностью в данном рассмотрении ресурсы будем характеризовать стоимостью (w_i).

Будем полагать, что для построения базы знаний с помощью дерева «*B*» требуется: предоставление информации о стоимости суммы ресурсов, необходимых для достижения соответствующей цели, определенной в дереве «*A*», и формирование приоритетов важности этих ресурсов согласно значениям множества $\{v_i\}$. В этой связи механизм формирования дерева «*B*» предлагается рассматривать как диалоговую технологию, в ходе которой должен учитываться человеческий фактор при взаимодействии специалистов в СКФС.

По сути, такая форма ведения разработки выступает как специальный вид организации информационного обеспечения, содержащего интеллектуальный продукт, основанный на познавательной деятельности разработчиков базы знаний. Например, на эффективность создания программно-технических систем влияют интерактивные и мультимедийные средства, мотивирующие разработчиков к эффективному использованию информационных ресурсов [5].

В построении дерева «*B*» интеллектуальный анализ информации – *Text Mining* рассматривается как частный случай *Data Mining*, т. е. нетривиальный процесс обнаружения новых, потенциально полезных, корректных и интерпретируемых закономерностей в данных. Примером реализации этой технологии является система *Nexidia*. Она распознает звуковую информацию объемом в 30 ч за 1 сек, что в 100 тысяч раз быстрее, чем стандартная скорость воспроизведения записи.

Из-за необходимости обработки большого количества информации встает проблема использования в СКФС компьютерных средств не только в виде текста или цифр, но и в форме речи или видеоряда. Особенностью систем интеллектуального анализа данных является необходимость обеспечения надежного интерфейса с организатором проектирования модели. В случае разработки многопрофильной модели для обработки информации может использоваться несколько блоков, каждый из которых должен работать в своей прикладной области (или нескольких областях) и на своем языке. Представляется целесообразным организовывать продуктивные взаимодействия и взаимоотношения между разработчиками. Весьма плодотворно расширение использования таких форматов совершенствования процесса разработки решений как деловые, ролевые игры, дискуссии, способствующие ускорению освоения опыта получения новых знаний.

Дерево «*C*» также строится в архитектуре дерева «*A*». Оно должно обеспечивать формирование множества решаемых задач, максимизирующих эффективность использования имеющихся ресурсов. Для построения дерева «*C*» задачи, решаемые для достижения целей, определенных деревом «*A*», будем рассматривать как элементы «*C*». Каждый из них характеризуется двумя параметрами – согласно анализу дерева «*B*», стоимостью (w_i) и, согласно анализу дерева «*A*», ценностью (v_i).

Практически всегда имеется ограничение на количество имеющихся ресурсов. В этом случае задача конструирования модели СКФС сводится к формированию множества задач с максимальной ценностью, соблюдая при этом ограничение на суммарную стоимость их решения.

В формализованной постановке такую задачу можно записать. Пусть для достижения каждой цели a_i требуется решение одной задачи. Следовательно, имеется n задач. Для каждой i-й задачи (i=1,2, …n) известна ценность ее решения v_i>0 и стоимость требуемых ресурсов w_i >0. Ограничение суммарной стоимости решения всей совокупности задач определено как допустимое количество ресурсов W. Требуется сформировать множество задач, характеризуемых множеством $\{v_i, i=1,2,\ldots n\}$, удовлетворяющим условию $\max \sum_{i=1}^{n} \upsilon_i x_i$ при ограничениях $\sum_{i=1}^{n} w_i x_i \le W$ и $x_i \in \{0,1\}$, где x_i – символ Кронекера, определяющий принятие или отказ от i–й задачи, $\forall\, i$.

Предлагаемая постановка допускает возможность обобщений, в зависимости от условий, наложенных на общее количество имеющихся ресурсов и на специфику количества задач. Например, не более одного значения ресурса для каждой задачи; не более заданного числа значений ресурсов для каждой задачи; произвольное количество значений ресурсов для каждой задачи; возможность мультивыбора, т.е. задачи разделены на группы и из каждой группы требуется выбрать только одну; множественные группы ресурсов – есть несколько групп ресурсов, каждая своего размера, каждая задача может быть отнесена к любой группе. Надо выбрать подмножества задач так, чтобы общие затраты каждого ресурса не превышали максимума по этому ресурсу, и при этом общая ценность решений была максимальна. Интеллектуальность такой модели определится формированием вектора ее развития согласно полезности достижения целей элементов дерева «A».

Заключение. Свобода в построении деревьев «A» и «B» позволяет решать широкий класс задач, например, оптимальное распределение семплов в районированной выборке или решение квадратичной задачи. Касс задач оптимизации построения СКФС относится к *NP*-полным, и для него неизвестен регулярный алгоритм, решающий их за разумное время. Эффективным направлением в решении *NP*-трудных задач оптимизации являются генетические алгоритмы. Они не гарантируют нахождение оптимального решения за заданное время и не дают оценку близости решения к оптимальному, но обладают хорошими временными показателями, позволяя найти достаточно хорошее решение быстрее других детерминированных или эвристических методов. Например, близость решения к оптимальному определяет функция приспособленности. Таковой может служить суммарная ценность решений, при условии, что их суммарная стоимость не превосходит общее количество имеющихся ресурсов. Поэтому в практическом рассмотрении в настоящее время требуется выбирать между точными алгоритмами, неприменимыми при «большой свободе» в ограничениях, и приближениями, которые работают быстро, но не гарантируют оптимального решения задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Юркевич Е.В., Кривопалов Д.М., Крюкова Л.Н.** Алгоритмические особенности надежностного проектирования бортовых систем космических аппаратов // Южно-Сибирский научный вестник, 2019. № 2. С. 18-27.
2. **Юркевич Е.В., Полетыкин А.Г., Промыслов В.Г., Степановская И.А., Крюкова Л.Н.** Виртуализация инжиниринга процессов управления стойкостью космического аппарата к электрофизическим воздействиям. М.: ИПУ РАН, 2018. 168 с.
3. **Блауберг И.В., Юдин Э.Г.** Становление и сущность системного подхода. М., 1973.
4. **Юркевич Е.В.** Введение в теорию информационных систем / 2-е изд., испр. и доп. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. 272с.
5. **Бурков В.Н., Новиков Д.А.** Введение в теорию активных систем. М.: ИПУ РАН, 1996.

E.V. Yurkevich, L.N. Kryukova (Institute for Control Science V.A. Trapeznikov Russian Academy of Sciences, Moscow)

Model Design – a New Mechanism in Building Socio-Cyberphysical Systems

The methodology for designing intelligent models of socio-cyberphysical systems consideration is *the* purpose of this work. Socio-cyber-physical systems take into account the combination of hardware and software cybernetic characteristics and the specifics of the human factor of developers and users. The individual design solutions of these systems, according to the customer's requirements, system analysis ensure in the design of models. This methodology proposes to implement by the goal tree optimizing, which determines the vector of development of the projected model by the criterion of the importance of their achievement; information tree that defines the structure of the knowledge base, optimized by

the criterion of the cost of obtaining resourcestask tree that allows you to optimize the development of a socio-cyber-physical system based on the criteria of two built trees.
The intelligence of the designed model determines by automation of its development vector control according to the dynamics of achieving the set goals utility. Due to practical restrictions on the number of available resources, the task of optimizing the plan for building a socio-cyber-physical system that provides the most valuable solutions, with restrictions on their cost. The proposed methodology is applicable to a wide class of problems, including optimal distribution of samples in a zoned sample, solving a quadratic problem, and so on. In the considered statement, the construction of socio-cyber-physical systems are NP-complete tasks. Not yet known regular algorithm that solves them in a reasonable time, requiring a choice between accurate algorithms are not applicable under fuzzy constraints that characterize the human factor, and approximations that allow problems solve faster than deterministic or heuristic methods, but does not guarantee the rigor of optimality of the found solutions.

Л. Р. ЧЕРНЯХОВСКАЯ, А. И. МАЛАХОВА, Н. О. НИКУЛИНА, В. И. БАТАЛОВА
Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрены вопросы организации поддержки принятия коллективных решений для проектных команд инновационного проекта. Актуальность исследований обоснована необходимостью снизить степень неопределённости при принятии решений в ходе выполнения комплекса проектов, используя накопленный корпоративный опыт и знания. Предложен синтез онтологических моделей предметной области и функционала информационных систем. Это позволит повысить эффективность реинжиниринга информационных систем и качество принимаемых решений, в том числе, в процессе разработки системы поддержки принятия коллективных решений.

Введение. В настоящее время инновационные проекты являются неотъемлемой составляющей развития сложных производственно-экономических систем (ПЭС). По данным исследований [1, 2], более 70% успешных инновационных проектов выполняются в рамках существующих ПЭС, что обусловлено наличием производственных мощностей и сформировавшимся коллективом исполнителей. Для инновационной проектной деятельности характерна высокая степень неопределенности при принятии решений, связанных, в том числе, с распределением ресурсов между отдельными коллективами исполнителей, работающими на достижение общей цели. Снизить степень неопределенности позволит разработка и применение при реализации проектов система поддержки принятия решений (СППР), которая содержит в себе правила принятия решений, основанные на знаниях о предметной области и управленческом опыте руководителей в различных ситуациях.

Несмотря на то, что в течение последних лет активно обсуждаются проблемы управления знаниями в проектной деятельности, что привело, например, ко включению процессов управления знаниями в стандарты по проектному управлению [3], в реальности порядок использования накопленных интеллектуальных активов ПЭС описан только для отдельных проектов. Отсутствие четких методик, позволяющих выстроить такую систему на любом экономическом объекте, влияет на эффективность разрабатываемых СППР – их каждый раз нужно проектировать «с нуля», отталкиваясь от конкретных задач конкретного проекта. При этом, с одной стороны, в практике разработки информационных систем существует множество типовых решений, которые после определенной адаптации могут быть успешно внедрены на предприятии. С другой стороны в работах [4–6] предлагаются решения, связанные с использованием онтологического анализа при проектировании программного обеспечения.

Авторы полагают, что можно предложить подобные методы типового проектирования и при разработке интеллектуальных СППР (ИСППР), основанных на использовании накопленного опыта и знаний. Для этого требуется совместить онтологический подход к описанию предметной области инновационного проекта, выполняемого в рамках ПЭС, и объектно-ориентированный подход к разработке информационной системы управления проектом (ИСУП). Предлагаемый доклад посвящен описанию этапов организации информационно-аналитической поддержки принятия коллективных решений для проектных команд инновационного проекта. Оригинальность подхода заключается в синтезе онтологических моделей предметной области и функционала информационных систем, обеспечивающих выполнение отдельных проектов, входящих в состав комплексного инновационного проекта.

Организация поддержки принятия коллективных решений для проектных команд. Анализ выполнения инновационных проектов в ПЭС [7, 8] показал, что успешность их подготовки и реализации во многом зависит:

1) от грамотного применения методов проектного менеджмента, соотнесенных с конкретной ситуацией на реализуемом проекте;

2) от использования современных информационных технологий, во многом являющихся основой для поиска новых технологических решений и повышения экономической эффективности от их применения;

3) от умения руководителя проекта при принятии решений опираться не только на собственный опыт и знания, но использовать совокупный опыт ПЭС и лучшие практики отрасли в целом.

Крупные инновационные проекты имеют, как правило, организационную структуру, сложность которой зависит не только от количества участников, но и от характера решаемых в проекте задач. Так, для получения конечного результата может потребоваться разработка и внедрение системы управления проектом (программный проект), строительство или модернизация производственной площадки (строительный проект), разработка сложных схем привлечения финансирования в проект (инвестиционный проект) и др. (рисунок).

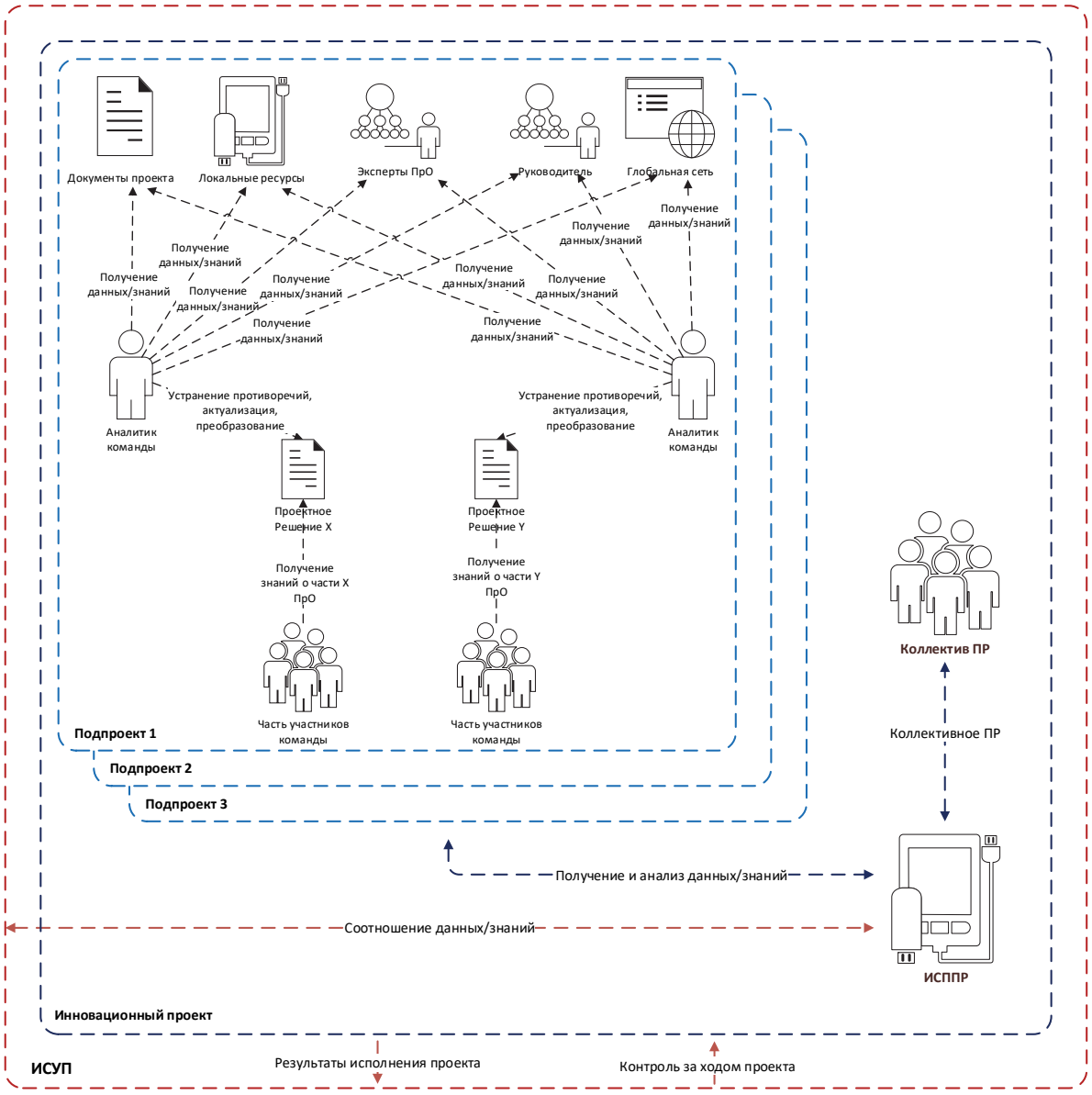


Рисунок. Схема взаимодействия коллектива участников инновационного проекта с использованием ИСППР

Ни один инновационный проект не может быть успешно реализован без применения в той или иной степени средств, методов и продуктов информационных технологий. В связи с этим в лучшем положении оказываются те предприятия, в организационной структуре которых присутствуют соответствующие службы, хорошо знакомые со спецификой бизнес-процессов ПЭС. Это позволяет на стадии инициации проекта не тратить время на поиск партнера, способного

оказать услуги по внедрению и поддержке информационных технологий, с помощью которых будет реализован инновационный проект. Известен и другой вариант, когда ИТ-компания имеет долгосрочное сотрудничество с крупным заказчиком, для инновационных проектов которого выполняется информационно-технологическая поддержка. Чаще всего такая ИТ-компания имеет статус системного интегратора, поскольку необходимо решать задачи совместного использования различных информационных систем, обеспечивающих выполнение бизнес-процессов заказчика.

Таким образом, основные этапы организации поддержки принятия коллективных решений могут быть представлены как:

1. Онтологический анализ проектов, входящих в состав инновационного проекта. Онтология проекта включает описание существенных аспектов предметной области каждого проекта - исходных данных, получаемых результатов, основных этапов жизненного цикла, состава участников.

2. Онтологический анализ средств информационных технологий, поддерживающих выполнение бизнес-процессов предметной области каждого проекта. Онтология ИС включает описание функциональности программных продуктов, состав пользователей, комплекс технических средств и специалистов, обеспечивающий их функционирование.

3. Определение взаимодействующих проектов и расстановка приоритетов в случае выявления конфликтов за выделяемые ресурсы.

4. Разработка интегрированной онтологии инновационного проекта с учетом классификации проектов и организационной структуры коллектива лиц, принимающих решения.

5. Разработка ИСППР, основу которой составят правила принятия решений коллективом участников проектных команд и прецеденты принятия решений, зафиксированные в ИСУП, исходя из опыта реализации проектов ПЭС.

Заключение. Сочетание разнородных проектов, являющихся составными частями инновационного проекта, усложняет систему управления им, поскольку в каждом подпроекте могут быть приняты свои подходы к управлению и распределению ресурсов, существуют различные способы представления результатов и форматы исходных данных. Ключевым фактором успеха инновационного проекта является целенаправленная скоординированная совместная деятельность различных коллективов участников проекта. Для достижения этой цели предлагается разработка и применением ИСППР, аккумулирующей опыт и знания проектного менеджмента, предметной области и функционала информационных систем, обеспечивающих выполнение проектов. В дальнейшем авторы планируют продолжить исследования с целью выполнения оценки эффективности ИСППР на основе имитационного моделирования решения задач, возникающих в процессе управления инновационным проектом.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-00-00345 (18-00-00238) «Методы и модели поддержки принятия решений при управлении инновационными проектами на основе инженерии знаний»

ЛИТЕРАТУРА

1. Pulse of the Profession®:.The Future of Work: Leading the Way with PMTQ, February 2019. URL: https://www.pmi.org/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2019. Дата обращения: 27.07.2020.
2. Индикаторы инновационной деятельности: 2019: статистический сборник / Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский, И.А. Кузнецова и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2019. 376 с.
3. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBoK Guide) / Project Management Institute. 2017. Pensylvanya: Sixth Edition, PMI Publications, 2017.
4. **Хорошевский В.Ф.** Проектирование систем программного обеспечения под управлением онтологий: модели, методы, реализации. *Онтология проектирования*. 2019. Т. 9. №4 (34). С. 429–448. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
5. **Загорулько Г.Б.** Модель комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР. *Онтология проектирования*. 2019. Т. 9. №4 (34). С. 462–479. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-462-479.
6. **Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И.** Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Изд-во «Лань», 2016. 324 с.
7. **N.O. Nikulina, A.I. Malakhova, I.F. Ivanova** Application of Intelligent Technologies in Solving the Innovative Projects Problems. 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). IEEE Xplore Digital Library. Date Added to IEEE *Xplore*: 03 February 2020. DOI: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976870.

8. **Черняховская Л.Р., Никулина Н.О., Малахова А.И.** Исследование содержания проблемы управления инновационными проектами в процессах стратегического планирования и развития производственно-экономических систем. *Информационные технологии.* 2020. Т. 26. № 4. С. 239–251. DOI: 10.17587/it.26.239-251.

L.R. Chernyakhovskaya, N.O. Nikulina, A.I. Malakhova, V.I. Batalova (Ufa State Aviation Technical University, Ufa)

Information and Analytical Collective Decision-Making Support with the Use of Intellectual Technologies

The issues of organizing collective decision-making support for innovative project teams are considered. Research relevance is justified by the need to reduce the degree of uncertainty in decision-making during the projects set implementation, using accumulated corporate experience and knowledge. A synthesis of the subject area and information systems functionality ontological models is proposed. This will improve the efficiency of information system reengineering and the quality of made decisions, among them during the process of developing a collective decision-making support system.

В. А. ХАКУЛОВ, В. А. ШАПОВАЛОВ, М. В. ИГНАТОВ, Ж. В. КАРПОВА
Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова, Нальчик

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ГОРНЫХ РАБОТ

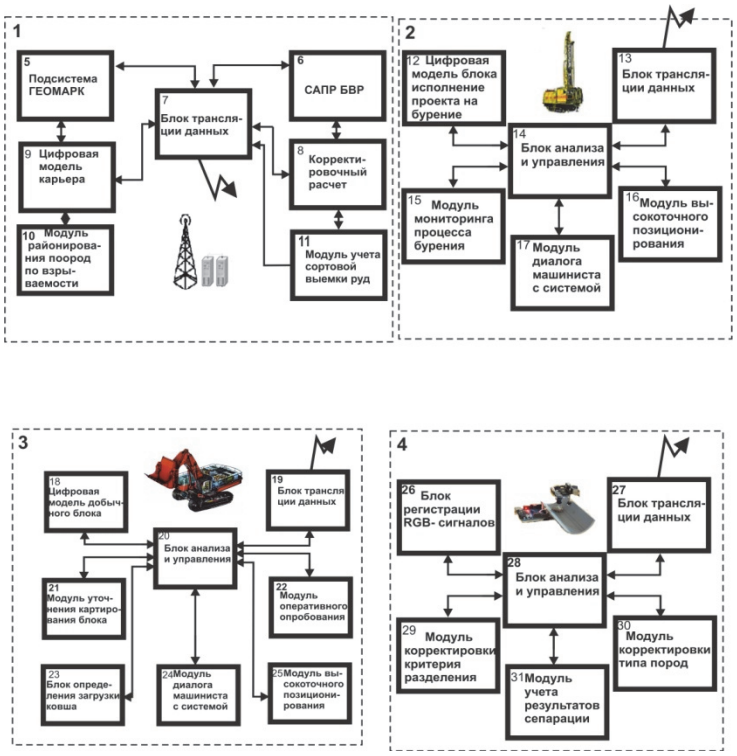
Снижение качества добываемого минерального сырья и удорожание производства требует поиска новых резервов, повышения эффективности работы горно-обогатительных предприятий. Предлагается новый уровень информационного обеспечения процессов горных работ на основе внедрения интеллектуальных систем мониторинга работы погрузочно-транспортных комплексов, обеспечивающий возможность адекватно реагировать на изменение горнотехнических условий. Благодаря использованию достоверной оперативной информации решается задача роботизации текущего проектирования, планирования и управления горными работами.

Введение. Интенсивное освоение недр в течение 20-го столетия привело к истощению запасов крупных месторождений с высоким качеством полезных ископаемых. Для сохранения достигнутого уровня производства металлов, выбывающие объемы богатых залежей повсеместно компенсируются увеличением объемов добычи бедных и труднообогатимых руд. Обеспечение рентабельности горно-обогатительных предприятий требует масштабной мобилизации резервов производства значительная часть, из которых доступна только при принципиально ином уровне информационного обеспечения процессов горных работ.

Одним из наиболее эффективных способов вовлечения бедных руд в процесс добычи и дальнейшей переработки, является их предварительная кусковая сортировка. Данный метод рудосортировки с 1946 года эффективно применялся в условиях обогатительных фабрик на урановых предприятиях СССР. В тоже время эффективность кусковой сортировки в условиях обогатительных фабрик существенно ниже, чем в добычных забоях из-за интенсивного перемешивания, усреднения отличающихся по критериям разделения пород и руд. Для получения максимального эффекта необходима адаптация процессов горных работ к технологии сепарации. В условиях одновременного вовлечения, в процесс отработки принципиально различающихся типов горных пород (некондиционных типов руд) необходимо учитывать требования к гранулометрическому и вещественному составу исходной горной массы (Патент России № 2537451). Для несовместимых технологических типов горной массы, необходима цикличная или раздельная подача их на сепарацию. При изменении технологического типа горной массы подаваемой на сепарацию должны обеспечиваться условия и возможности перестройки технологии. Адаптация должна затрагивать процессы подготовки и проведения взрывной отбойки массивов горных пород, отгрузки горной массы из экскаваторных забоев. От гранулометрической характеристики отбитой горной массы зависит выход сепарационных классов крупности, определяющий эффективность сепарации [1, 2]. Переизмельчение горной массы при взрывных работах ведет к дополнительным потерям ценных компонентов в не сепарационных классах крупности. Ведущая роль оптимизации геотехнологии отводится автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУТП).

На рисунке представлена автоматизированная система управления технологическим процессом формирования разнокачественных потоков горной массы на стадии горных работ.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) формирования разнокачественных потоков горной массы включает стационарную и мобильные составляющие, и состоит из четырех подсистем:



1 – стационарная, серверная часть функционально решает задачи накопления и обработки данных, проектирования буровзрывных, вскрышных и добычных работ, а также задачи формирования разнокачественных потоков горной массы. Связь между серверной и мобильными подсистемами осуществляется через блоки трансляции данных (4, 14, 20 и 28). Основу для проектирования горных работ составляет блочная, цифровая модель карьера (9), модуль районирования пород по взрываемости (10), формируемые подсистемой ГЕОМАРК (5) по данным скважинного опробования.

2 – мобильная подсистема управления буровым станком функционирует в соответствии с технологическим регламентом. С серверной части через блок трансляции данных загружается проект на бурение реализованный модулем САПР БВР (6) на основе районирования по взрываемости (10), в соответствии с типовым проектом на проведение массовых взрывов.

Рисунок. Структурная схема автоматизации технологии формирования разнокачественных потоков горной массы на стадии горных работ с использованием RGB-метода регистрации полезных кусков при сепарации шеелитсодержащих руд

Размещение взрывных скважин на блоке в соответствии с проектом на бурение обеспечивается функционированием модулей: высокоточного позиционирования (16); диалога машиниста и системы(17) и блока анализа и управления (14). Мониторинг процесса бурения осуществляется модулем (15). Данные скважинного опробования транслируются через модуль (15) на сервер и используются для уточнения цифровой модели блока и проекта сортовой – селективной добычи. Реализация сортовой добычи на блоке осуществляется гидравлическим экскаватором под управлением подсистемы (3). При этом решается задача формирования разнокачественных потоков горной массы методом порционной сортировки в ковше экскаватора и кузове автосамосвала для условий дальнейшей кусковой сортировки с использованием RGB-метода регистрации полезных кусков шеелитсодержащих руд. Начинают отработку пород забоя с контура между технологическими типами горной массы. Контуры технологических типов руд для селективной выемки предварительно устанавливаются по данным опробования сети технологических скважин. Порядок выемки пород, направление черпания меняется по мере продвижения экскаватора и изменения его положения в забое относительно и зон локализации технологических типов руд.

С другой стороны изменчивость горно-геологических и горнотехнических условий не позволяют добиться существенного увеличения показателей использования современных горнотранспортных комплексов. Для обеспечения рентабельной работы горного производства нужны интеллектуальные погрузочно-транспортные комплексы, обеспечивающие ритмичность работы за счет способности адекватно реагировать на изменение горнотехнических условий [3–6].

Непредсказуемая пространственная изменчивость структурных и прочностных свойств массивов горных пород снижает эффективность работы бурового, погрузочного и транспортного оборудования. Это затрудняет управление горным производством, не позволяет использовать резервы. Вскрытие значительных технологических резервов не возможно без создания эффективной системы мониторинга процессов бурения и экскавации на основе измерения в производственных условиях новых параметров характеризующих массивы горных пород. Оперативная корректировка районирования по категориям буримости, трещиноватости и взрываемости обеспечивает эффективность использования горного оборудования.

Заключение. Таким образом, узловым решением обеспечивающим переход от роботизации отдельных процессов горных работ к роботизированному горному производству является продвижение саморазвивающихся моделей районирования массивов горных пород по буримости, трещиноватости и взрываемости на основе интеллектуального комплекса буровой станок – экскаватор. Благодаря использованию достоверной оперативной информации решается задача роботизации текущего проектирования, планирования и управления горными работами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хакулов В.А.**, Кононов О.В., Новиков В.В., Хакулов В.В., Сыцевич Н.Ф. Проектирование технологии формирования и стабилизации качества руд на основе рудосортировки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 9. С. 60-62.
2. **Хакулов В.А.** Совершенствование технологии формирования качества руд и повторной добычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 3. С. 44-45.
3. **Хакулов В.А.** Технология пошагового совершенствования буровзрывных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 2. С. 64-65.
4. **Хакулов В.А.**, **Хакулов В.В., Сыцевич Н.Ф., Ксенофонтов А.С., Ткаченко Л.А**. Аппаратно-программный комплекс формирования потока руды по крупности // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2012. Т. 2. № 4. С. 59-62.
5. **Хакулов В.А., Шаповалов В.А., Игнатов М.В.** Совершенствование технологии буровзрывных работ на открытых горных разработках // Горный информационный аналитический бюллетень. 2019. №S29. С. 34-49.
6. **Хакулов В.А., Шаповалов В.А., Игнатов М.В.** Проблемы изменчивости массивов пород при роботизации открытых горных разработок // Горный информационный аналитический бюллетень. 2019. №S29. С. 50-64

V.A. Khakulov, V.A. Shapovalov, M.V. Ignatov, Zh.V. Karpova, (Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik)

Improving Information Technologies to Control Mining Operations

Reducing the quality of extracted mineral raw materials and increasing the cost of production requires the search for new reserves, improving the efficiency of mining and processing enterprises. A new level of information support for mining processes is proposed based on the introduction of intelligent systems for monitoring the operation of loading and transport complexes, which provides an opportunity to respond adequately to changes in mining conditions. Thanks to the use of reliable operational information, the task of robotizing the current design, planning and management of mining operations is resolved.

В. Е. ГВОЗДЕВ, Л. Р. ЧЕРНЯХОВСКАЯ, Н. О. НИКУЛИНА, О. Я. БЕЖАЕВА
Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ

В настоящей работе рассматривается формальная модель, создающая основу формирования сбалансированной системы основных характеристик проекта, для случая, когда в равной степени важна удовлетворенность свойствами продукта со стороны заказчика, а также ходом реализации проекта со стороны исполнителя. Формирование сбалансированной системы характеристик программного проекта является одним из решающих факторов успешной реализации проекта. Основу формирования сбалансированной системы характеристик составляет рассмотрение проекта как статического многосвязного объекта управления. Эмпирические функциональные зависимости соответствуют прямым и перекрестным связям между входными и выходными параметрами многомерного объекта. Предлагаемый подход к формированию сбалансированной системы характеристик проекта формализован, что делает возможным его автоматизацию.

Введение. Одним из вызовов четвертой промышленной революции является требование предоставления продуктов, обладающих ценными для разных целевых групп потребителей свойствами в темпе быстро меняющихся предпочтений последних. Из этого, в частности, вытекает необходимость развития теоретических положений, методических и инструментальных средств, предназначенных для предупреждения возникновения и раннего обнаружения в системах управления проектами дефектов разной природы: организационных; технологических; обусловленных психологическими особенностями разработчиков [1–6]. В работе [7] отмечается, что причиной неудачного завершения проектов являлось отсутствие взаимопонимания людей, участвующих и вовлеченных в организацию и реализацию проектов. Получившие в настоящее время широкое распространение методы и модели управления проектами – ISO 21500 [8], ICB IPMA [9], PMBOK PMI [10], НТК СОВНЕТ [11] предназначены для уровня исполнителей: руководителей проектов, управляющей команды, специалистов офисов. Недостаточно развита методическая и модельная основа поддержки деятельности основных заинтересованных сторон (stakeholder`ов), т. е. уровня принятия стратегических решений. В [7] подчеркивается, что от обоснованности стратегических решений зависит 50 % успеха проектной деятельности. Там же отмечается, что к настоящему времени наибольшее распространение среди методов поддержки принятия стратегических решений с учетом позиций разных заинтересованных сторон получили методы, реализованные в рамках дескриптивного подхода, ограничивающиеся исследованиями на содержательно-описательном уровне. Подчеркивается необходимость совершенствования обеспечения на основе математических моделей, в том числе моделей со стохастическими параметрами. Анализ литературных источников позволяет утверждать, что к настоящему времени наибольшее развитие получили методы выявления дефектов, обусловленных преобразованием функциональных и нефункциональных требований в коды. Эти методы, по сути, ориентированы на реализацию реактивного подхода к управлению дефектами технологической природы. В то же время, не получили необходимого развития методы проактивного управления дефектами [12, 6, 13] в основе которых лежит предупреждение ошибок системного характера на стадии формирования организационной структуры проекта. Одной из причин возникновения дефектов системного характера в организации проектов, является несбалансированность основных характеристик проекта (бюджета; длительности реализации; требованиями к качеству результатов, в общем случае различающимися у разных целевых групп пользователей). В [14], в частности отмечается, что одним из проявлений несбалансированности характеристик программных проектов является недостаток времени, выделяемого на испытания соответствия потребительских свойств программных компонент информационно-вычислительных систем требованиям технического задания, что является причиной аварий, зачастую имеющих трагические последствия [15].

В настоящей работе рассматривается формальная модель, создающая основу формирования сбалансированной системы основных характеристик проекта, для случая, когда в равной степе-

ни важна удовлетворенность свойствами продукта со стороны заказчика, а также ходом реализации проекта со стороны исполнителя.

Основные положения и допущения предлагаемого подхода. Основу предлагаемого подхода к решению задачи составляют следующие допущения:

- Потребительские свойства конечного продукта определяются организацией и ходом реализации проекта. Основанием этому служат, во-первых, известные утверждения о том, что поведение системы определяются ее устройством [16], во-вторых, известное утверждение о том, что причинами нежелательных событий, возникающих при управлении сложными субъектоцентрическими системами, в первую очередь являются ошибки в организации управления сложной системой, и лишь во-вторую очередь ошибки операторов [17].
- Проект создания сложной системы рассматривается как статический многосвязный объект управления. Это дает основание рассматривать прямые и перекрестные связи между входными и выходными параметрами проекта как строгие функциональные зависимости с неизменной структурой и параметрами (см., например,[18])
- Программные системы относятся к классу субъектоцентрических систем. В силу этого при оценивании проектов нужно одновременно использовать как их измерительные данные, так и субъективные оценки потребителей и исполнителей. При оценивании качества хода проекта и потребительских свойств получаемого продукта в равной степени важно учитывать удовлетворенность исполнителей и заказчиков. В качестве входных параметров проекта рассматриваются бюджет и длительность реализации проекта. В качестве выходных – удовлетворенность представителей заказчика и исполнителей проекта. Содержание этого допущения является конкретизацией компонентов известной системной модели «треугольник проекта» в редакции 2015 года [18].
- Ожидаемый исход проекта в равной мере определяется как ограничениями на бюджет и длительность реализации проекта, так и опытом исполнителя в реализации проектов аналогичного содержания. Содержание этого допущения является выражением известного «принципа ресурсов» с одной стороны [19] и того обстоятельства, что проект сложной системы является разновидностью субъектоцентрических систем [20].
- Допущение о сопоставимости и однородности (в статистическом смысле) исторических данных об основных параметрах проектов и полученных в ходе их реализации продуктов. Основанием для такого допущение является, во-первых, то, что организации-разработчики специализируется на реализации проектов в определенной предметной области, во-вторых, то, что внутри организации накапливается опыт решения задач определенной тематической направленности [21]. В-третьих, то, что ключевые моменты деятельности сотрудников регламентируется стандартами и официально утвержденными руководствами.

Модель проекта как многосвязного объекта управления. Проекту как многосвязному объекту управления может быть поставлена в соответствие графическая модель, представленная на рисунке. Входными (управляемыми) параметрами модели являются x_1 – бюджет и x_2 – длительность реализации проекта соответственно. Выходными параметрами являются удовлетворенность заказчика – y_1 и исполнителя y_2 соответственно.

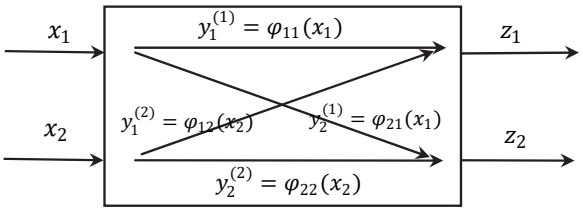


Рисунок. Модель проекта как многосвязного объекта управления

Эмпирические функциональные зависимости $y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i),\ (i,j = 1,2)$, соответствующие прямым и перекрестным связям многосвязного объекта, являются строгими. Эмпирические функциональные зависимости строятся на основе измерительных данных и экспертных оценок относительно потребительских свойств созданных продуктов и хода ранее реализованных проектов.

Совместное влияние входных характеристик x_i на выходные определяется на основе функциональных зависимостей, характеризующих прямые и перекрестные связи $y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)$:

$$A^{(j)}: \left\{ y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i) \right\} \to z_j = \Phi_j(x_1, x_2), i,j = 1,2 \qquad (1)$$

здесь $A^{(j)}$ – оператор свертки, соответствующий *j-му* выходному параметру модели.

Основу формирования операторов свертки $A^{(j)}$, преобразующих функциональные зависимости $\left\{y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)\right\}$, характеризующие прямые и перекрестные связи в зависимости вида $z_j = \Phi_j(x_1, x_2), i, j = 1, 2$, составляют следующие положения.

Областью допустимых значений для характеристики удовлетворенности z_j будем считать интервал $z_j \in [0,1], j = 1, 2$. Нижняя граница интервала соответствует варианту, когда субъекты (потребитель/исполнитель) абсолютно не удовлетворены результатами /ходом проекта. Верхняя граница интервала соответствует их абсолютной удовлетворенности.

Удовлетворенность потребителя уменьшается по мере увеличения как бюджета x_1, так и длительности реализации проекта x_2. Поэтому функциональные зависимости $y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)$ являются обратными. При этом возможна компенсация одного параметра другим. К примеру, компенсация изменения длительности реализации проекта за счет изменения бюджета проекта и наоборот [14].

С точки зрения заказчика возможна реализация проекта нулевой длительности, что фактически соответствует приобретению готового продукта. Исходя из вышеизложенного можно утверждать, что $\Phi_1(x_1, x_2)$ можно представить аддитивной функцией, т. е.

$$z_1 = \varphi_{11}(x_1) + \varphi_{21}(x_2) \quad (2)$$

Удовлетворенность исполнителей, напротив, растет с увеличением как бюджета x_1, так и длительности реализации x_2 проекта. Постулируется, что исполнитель отказывается от реализации проекта, если хотя бы одна из его характеристик x_i (i=1,2) равна нулю.

Исходя из этих соображений, можно заключить, что в качестве $\Phi_2(x_1, x_2)$ можно использовать:

$$z_2 = \varphi_{12}(x_1) * \varphi_{22}(x_2) \quad (3)$$

т.е. мультипликативную функцию.

Удовлетворенность исполнителя определяется как величиной бюджета проекта, так и длительностью реализации проекта. Содержательно такая ситуация может иметь место при обеспечении информационной поддержки ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, когда в качестве заказчика на информационное обслуживание выступают органы исполнительной власти, а исполнителями – научно-производственные организации, являющиеся структурными подразделениями этих органов.

На основании полученных зависимостей с учетом реальных ограничений на бюджет x_1^* и длительность реализации проекта x_2^* на ранних стадиях проекта можно оценить предполагаемое качество результатов (выражаемое степенью удовлетворенности) с учетом прежнего опыта взаимодействия исполнителя и заказчика.

Заключение. Предлагаемый подход делает возможным оценить предполагаемую удовлетворенность заказчика результатами проекта, а исполнителей – ходом проекта в зависимости от бюджета и ограничений на длительность проекта с учетом опыта, полученного от ранее реализованных проектов. Предложена формальная модель проекта как многосвязного объекта управления, использование которой делает возможным повысить обоснованность принятия стратегических решений по организации проекта основными заинтересованными сторонами.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ №19-08-00937 А «Методы и модели интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении программными проектами, реализуемыми в среде производственных предприятий»

ЛИТЕРАТУРА

1. Gursimran Singh Walia, Jeffrey C. Carver “A systematic literature review to identify and classify software requirement errors” // Information and Software Technology, 2007, pp. 1087-1109.
2. Saeed Soltanmohammadi, Saman Asadi, Norafida IthminNorafida Main human factors affecting information system security // Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business, vol. 5 (7), 2013, pp. 329-354.
3. Fugun Huang, Bin Liu Software defect prevention based on human error theories // Chineese Journal of Aeronautics, vol. 30(3), 2007, pp. 1054-1070.
4. Scott A. Shappell, Douglas A. Wiegmann The Human Factors Analysis and Classification System–HFACS // U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2000, 15 p.
5. Pelaez C.E, Bowles J.B. Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis. Information Sciences, 1996; 88(1), pp. 177-199.

6. Гвоздев В.Е., Бежаева О.Я., Насырова Р.А. Модели возникновения ошибок на предпроектной стадии разработки компонент информационно-вычислительных систем // Онтология проектирования. 2020. Т.10, №1 (35). С. 73-86.
7. Гельруд Я.Д, Логиновский О.В. Управление проектами: Методы, модели, системы //моногр. под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Л. Шестакова. Челябинск, Издательский центр ЮУрГУ, 2015. 330 с.
8. ISO 21500:2012. Guidance on project management. International Organization for certification, 2012. https://www.iso.org/standard/50003.html
9. ICB IPMA Competence Baseline Version 3.0. International Project Management Association. Editorial committee: Gilles Caupin, Hans Knoepfel, Gerrit Koch, Klaus Pannenbäckerb, Francisco Pérez Polo, Chris Seabury, IPMI. 2006. 200 p.
10. Руководство к своду знаний по управлению проектами (PMBOK Guide). 5 изд. Американский национальный стандарт ANSI/PMI 99-01-2004.A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Publisher: Project Management Institute, 2012. 585 c.
11. Управление проектами: основы профессиональных знаний. Национальные требования к компетентности специалистов по управлению проектами. Версия 3.0 // под науч. ред. В.И. Воропаева. М: Проектная практика, 2010. 256 с.
12. Fugun Huang, Bin Liu Software defect prevention based on human error theories // Chineese Journal of Aeronautics, vol. 30(3), 2007, pp. 1054-1070.
13. В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Д.В. Блинова. Эвергетика как методологическая основа управления выявлением дефектов на предпроектной стадии жизненного цикла систем обработки данных // Онтология проектирования. 2018. Т. 8, №1(27). С.152-166. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-152-166.
14. Макконнелл Стив. Сколько стоит программный проект. Издательство: Питер, 2007 г. 297 с.
15. Gregory Travis. How the Boeing 737 Max Disaster Looks to a Software Developer. https://spectrum.ieee.org/aerospace/aviation/how-the-boeing-737-max-disaster-looks-to-a-software-developer.
16. Donella H. Meadows Thinking in Systems: A Primer, Chelsea Green Publishing, 2008, 240 p.
17. Scott A. Shappell, Douglas A. Wiegmann. The Human Factors Analysis and Classification System–HFACS // U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2000, 15 p.
18. Pelaez C.E, Bowles J.B. Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis. Information Sciences, 1996; 88(1), pp. 177-199.
19. CHAOS Report. The Standish Group International, Inc., 2015. https://www.standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf
20. Eze Sunday. Extension and Modification of Anticipatory Failure Determination Approach based on I-TRIZ. Master Thesis, 2014. 110 p.
21. Афанасьев Ф. Управление проектами в стиле ДРАЙВ. М: «Издательские решения». – 2017, 102 с.
22. Гвоздев В.Е., Мунасыпов Р.А., Бежаева О.Я., Ахметова Д.Р. Построение модели многосвязного объекта на основе совместного использования данных и экспертных оценок // Онтология проектирования. 2019 т. 9 № 3. С. 361-368.

V.E. Gvozdev, L.R. Chernyahovskaya, N.O. Nikulina, O.Ya. Bezhaeva
Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

Support of Project Parameters Formation Based on Empirical Mathematical Models

Formation of characteristic balanced system of program project is a critical factor in the successful implementation of the project. This paper describes the formal procedure for evaluating the budget and project duration values, that provide the best correlation between customer satisfaction of project results and project actors. The basis for the formation of a characteristics balanced system is the consideration of the project as a static multivariable control object. Empirical functional dependencies correspond to direct and cross-linking of multivariable object. The feature of empirical models constructing is the need to share actual (historical) data about budgets and the previously implemented projects duration, and subjective estimates (determined by experience) of consumers and developers. The proposed procedure is formalized, this allows us to get stable estimates of the project characteristics.

О. В. ЖВАЛЕВСКИЙ
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Санкт-Петербург

АНАЛИЗ СТРУКТУРНОГО СХОДСТВА ПАРНЫХ ТЕНЗОТРЕМОРОГРАММ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФУНКЦИЙ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ВРЕМЕННЫМИ РЯДАМИ

В докладе рассматриваются парные тензотреморограммы – временные ряды, которые возникают при регистрации усилия, удерживаемого кончиками пальцев двух рук испытуемого при опоре на чувствительную платформу. Основная гипотеза заключается в том, что процесс удержания заданного уровня усилия протекает по-разному у различных категорий испытуемых – как у здоровых испытуемых, так и у людей, имеющих ту или иную патологию. В докладе исследуются различные подходы к анализу структурного сходства парных тензотреморограмм, основанные на применении функций расстояния между временными рядами.

Введение. Будем рассматривать тензотреморограммы (ТТГ) – временные ряды, которые возникают при регистрации усилия, удерживаемого испытуемым кончиками пальцев при опоре на чувствительную платформу [1, 2]. Эти временные ряды используются для диагностики болезни Паркинсона и синдрома паркинсонизма [3, 4]. Удержание испытуемым усилия на определённом уровне заключается в совмещении друг с другом двух меток на экране компьютера, каждая из которых управляется отдельной рукой испытуемого. Парные ТТГ – это временные ряды, которые регистрируются для левой руки и для правой руки испытуемого одновременно в ходе одного и того же измерительного эксперимента. Парные ТТГ объективным образом отражают процесс постоянной коррекции взаимного положения двух меток. Основная гипотеза заключается в том, что процесс удержания усилия протекает различным образом у различных категорий испытуемых – как у здоровых испытуемых, так и у людей, имеющих ту или иную патологию. Предлагаемый доклад посвящен исследованию различных подходов к анализу структурного сходства, имеющегося между парными ТТГ, основанных на применении функций расстояния между временными рядами.

Постановка задачи. Структура экспериментальных данных полностью определяется структурой измерительного эксперимента, который состоит из двух различных частей: первая часть заключается в удержании определённого уровня усилия кончиками пальцев; вторая часть заключается в удержании определённого уровня усилия при помощи вытянутых рук. Измерительный эксперимент каждого типа проводится дважды: первый раз удерживается минимально допустимый уровень усилия, во второй раз удерживается максимально допустимый уровень усилия. В соответствии с этим, в сравнительном анализе участвуют четыре различных типа временных рядов, каждый из которых представлен двумя парными ТТГ. Представляется целесообразным использовать здесь подходы к анализу, основанные на применении *функций расстояния* между временными рядами.

Первый подход к анализу временных рядов заключается в *кластеризации* имеющихся временных рядов. В этом случае, временные ряды группируются в *кластеры* или группы, однородные в смысле используемой функции расстояния. Второй подход к анализу временных рядов заключается в анализе *внутренней* структуры временных рядов, порождаемой применением биологической обратной связи. В этом случае, в имеющихся временных рядах выделяются характерные *структурные элементы*. При анализе парных ТТГ, такими структурными элементами будут, очевидно, фрагменты с похожим поведением, имеющиеся в различных ТТГ, составляющих общую пару, и отражающие процесс взаимной коррекции положения меток друг относительно друга. В этом смысле, проверка основной гипотезы сводится к выбору такой функции расстояния, которая позволит наиболее точно восстанавливать структуру взаимных коррекций. Таким образом, оптимальный выбор функции расстояния полностью определяется внутренней структурой анализируемых временных рядов.

Методика структурного анализа. Для того, чтобы провести сравнительный анализ двух временных рядов, необходимо рассматривать фрагменты одного временного ряда и исследовать вхождение этих фрагментов в другой временной ряд. Если взять произвольный фрагмент *первого* временного ряда и, затем, перемещать окно соответствующей ширины вдоль *второго* временного ряда, то для каждого допустимого положения окна можно вычислить расстояние

между соответствующими фрагментами. Результатом построения будет *дистанционный профиль* данного (второго) временного ряда по отношению к заданному фрагменту первого временного ряда. Каждому фрагменту первого временного ряда соответствует свой дистанционный профиль (и, наоборот). Если, теперь, рассмотреть различные фрагменты первого временного ряда (например, перемещая вдоль *первого* временного ряда окно соответствующей ширины), то можно получить *дистанционную матрицу*. Каждой заданной заранее длине фрагментов и каждой процедуре перебора различных фрагментов соответствует своя дистанционная матрица. Фиксируя некоторое пороговое значение (меру сходства), в анализируемом (втором) временном ряде выделяются фрагменты, которые можно считать (в смысле заданной функции расстояния и в смысле заданной меры сходства) *вхождениями* заданных фрагментов первого временного ряда во второй временной ряд. Построение и анализ дистанционных профилей, которые строятся для *парных* временных рядов, имеет особе значение. Действительно, если взять некоторый *начальный* фрагмент одного из двух временных рядов, составляющих пару, и построить соответствующий ему дистанционный профиль для второго временного ряда, составляющего ту же пару, то, обнаруживая ближайший минимум, можно выделить во втором временном ряде фрагмент, похожий на исходный фрагмент первого временного ряда. Если теперь, взять выделенный фрагмент второго временного ряда и построить дистанционный профиль первого временного ряда по отношению уже к этому фрагменту, то, обнаруживая ближайший минимум уже в новом дистанционном профиле, можно выделить в первом временном ряде фрагмент, похожий на ранее выделенный фрагмент второго временного ряда. Последовательно выделяя таким способом фрагменты в обоих временных рядах, можно постепенно восстановить структуру взаимных коррекций. При этом, следует учитывать, что выделяемые фрагменты могут перекрываться, а сами «коррекции» могут многократно повторяться в виде «эха». По своей сути, речь идёт об организации процедуры последовательного сдвига одного временного ряда относительно другого. При этом, каждый такой сдвиг должен обеспечивать минимальное расстояние между локальными фрагментами обоих временных рядов, вычисляемое в пределах некоторого окна.

Предварительные результаты. Будем использовать для оценки корректности основной гипотезы стандартное евклидово расстояние и его аналоги. Это позволит получить первичное представление об анализируемых временных рядах и построить надёжное основание для применения, в дальнейшем, других функций расстояния между временными рядами.

Преобразования временных рядов. Как показывают вычисления, непосредственное применение евклидова расстояния (или его аналогов) не позволяет каким-либо образом различать ТТГ, относящиеся к различным категориям. При этом, само значение евклидова расстояния (или его аналога) существенным образом зависит от амплитуды. Именно поэтому, оказывается целесообразным использовать то или иное преобразование (вроде нормализации и/или стандартизации), позволяющее привести анализируемые временные ряды к единой шкале. Как показывают вычисления, наиболее удачный способ нормировки заключается в вычислении максимального уклонения для каждой отдельной пары ТТГ и нормировки данным значением исходного евклидова расстояния, вычисляемого для двух парных временных рядов. Ещё один успешный вариант преобразования связан с удалением из анализируемого временного ряда локального тренда, которое также позволяет нивелировать различие в амплитуде, имеющееся между различными временными рядами. Аналогичные результаты получаются и при дифференцировании исходных временных рядов с последующими нормализацией и/или стандартизацией.

Построение дистанционного профиля. Как показывают вычисления, дистанционный профиль, построенный для парных ТТГ, имеет, периодическую структуру, что является ожидаемым, в силу того, как осуществляется процесс регистрации физиологических сигналов. В то же время, если рассматривать фрагменты, извлекаемые из ТТГ одного класса (то есть – ТТГ, относящимся к определённой категории испытуемых), и строить дистанционные профили для ТТГ другого класса, то уже не будет такой явной периодической структуры, при этом, сами расстояния будут б*о*льшими. Как показывают вычисления, ширина окна и сама структура взаимных сдвигов временных рядов, составляющих общую пару, друг относительно друга различается для различных ТТГ – как для ТТГ, относящихся к различным классам, так и для ТТГ одного и того же класса, но относящихся к различным типам измерительных экспериментов, что подтверждает целесообразность организации *составного* измерительного эксперимента, содержа-

щего внутри себя несколько различных тестов, соответствующих различным условиям проведения измерительного эксперимента. Также было обнаружено, что учёт локальных деформаций парных временных рядов, позволяет точнее определять сходство соответствующих подпоследовательностей, а значит, и точнее определять величину самого сдвига, причём эта величина оказывается информативным показателем.

Заключение. В предлагаемом докладе рассматривается задача выявления структурного сходства между парными ТТГ, возникающего в результате введения в схему организации измерительного эксперимента биологической обратной связи, и исследуются подходы к анализу этого сходства, основанные на применении функций расстояния между временными рядами. Полученные предварительные результаты с применением стандартного эвклидова расстояния и его аналогов подтверждают основную гипотезу. Это обосновывает необходимость в более глубоких и масштабных исследованиях. Первое направление исследований связано с применением различных «гибких» или «эластичных» функций расстояний (вроде DTW [5, 6] и LCSS [7]). Такие функции позволят более точно выделять похожие друг на друга фрагменты, имеющиеся в парных временных рядах, поскольку эти функции допускают локальные искажения как по времени, так и по амплитуде. Второе направление исследований связано с построением различных символьных представлений анализируемых временных рядов (вроде специализированного представления SAX [8]). Удачно выбранное символьное представление позволит обнаруживать связанные друг с другом фрагменты, имеющиеся в парных временных рядах, поскольку такие фрагменты будут описываться одними и теми же (или близкими друг к другу) символьными подпоследовательностями. И, наконец, третье направление исследований связано с разработкой специализированных алгоритмов кластеризации фрагментов временных рядов и построением новых комбинированных функций расстояния между временными рядами, которые наилучшим образом учитывают парную структуру ТТГ. В силу особой структуры экспериментальных данных и особой постановки основной задачи, все результаты (как уже полученные, предварительные результаты, так и предполагаемые в будущем результаты) являются принципиально новыми.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Романов С.П., Якимовский А.Ф., Пчелин М.Г.** Метод тензометрии для количественной оценки тремора // Физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 1996. Том 82, № 2. С. 118-123.
2. **Романов С.П., Пчелин М.Г., Якимовский А.Ф.** Характеристики изометрически регистрируемого тремора при поражении экстрапирамидной системы // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 1997. Том 83, № 3. С. 133–139.
3. **Дик О.Е., Романов С.П., Ноздрачев А.Д.** Энергетические и фрактальные характеристики физиологического и патологического тремора руки человека // Физиология человека, 2010, том 36, № 2, с. 92–100.
4. **Дик О.Е., Ноздрачев А.Д.** Нелинейная динамика непроизвольных колебаний руки человека при двигательной патологии // Физиология человека, 2015, том 41, № 2, с. 53–59.
5. Berndt D.J., Clifford J. Using Dynamic Time Warping to find patterns in time series. *Proceedings of the 3rd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.* 1994. PP. 359-370.
6. Keogh E.J., Ratanamahatana C.A. Exact indexing of dynamic time warping. *Knowledge and Information Systems*. 2005. Vol.7. PP. 358-386.
7. Vlachos M., Gunopulos D., Kollios G. Discovering similar multidimensional trajectories. *Proceedings 18th International Conference on Data Engineering (ICDE)*. 2002. PP. 673-684.
8. Lin J., Keogh E., Lonardi S., Chiu B. A symbolic representation of time series, with implications for streaming algorithms. *Proceedings of 8th ACM SIGMOD Workshop on Research Issues Data Mining and Knowledge Discovery–DMKD'03*. 2003. P. 2.

O.V. Zhvalevsky, (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

Paired Tenzotremorogramms Structure Similarity Analysis Based on Time Series Distance Functions

The paper is concern with paired tenzotremorogramms that is a result of fingers force registration (for both human arms) via sensitive platform with tenzosensor. The main hypothesis is: the dynamics of force hold process differs for different patient category (for healthy patients and for patients who have some pathology). In the paper some approaches to paired tenzotremorogramms structure similarity analysis are investigated. These approaches are based on application of time series distance functions.

Э. И. ЦВЕТКОВ, Е. С. СУЛОЕВА
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург

МЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Рассматривается задача метрической идентификации зависимости, которая имеет целью обеспечение возможности определения ее вида на примере плотности распределения случайной величины с использованием вероятностных характеристик.

Метрическая идентификация зависимостей [1] – сравнительно новое направление в метрологии. Цель метрической идентификации – установление вида зависимости, позволяющего определять ее значение при фиксированном значении аргумента. При этом в соответствии с принципами метрологии [2] для получаемых результатов определяются точностные характеристики. Метрическая идентификация зависимостей занимает промежуточное положение между измерениями величин и идентификацией объектов и отношений и в ее основе случайная величина λ, свойства которой представляются числовыми и функциональными вероятностными характеристиками, определяемыми на множестве ее возможных значений Λ, т.е. случайная величина $\lambda \in \Lambda$.

Числовая вероятностная характеристика $\Phi[\lambda]$ определяется соотношением

$$\Phi[\lambda] = \lim_{i\to\infty} \sum_{i=1}^{I} g_{\Phi}[\lambda_i] / I, \tag{1}$$

где λ_i – i-ый отсчет λ; $g_{\Phi}[\lambda_i]$ – преобразование, лежащее в основе определения $\Phi[\lambda]$.

Функциональная вероятностная характеристика $\Phi[\alpha / \lambda]$ определяется соотношением

$$\Phi[\alpha / \lambda] = \lim_{i\to\infty} \sum_{i=1}^{I} g_{\Phi}[\alpha / \lambda_i] / I. \tag{2}$$

Соответственно оценки числовой $\Phi[\lambda]$ и функциональной вероятностной характеристики $\Phi[\alpha / \lambda]$, получаемые в j-ом идентификационном эксперименте представляются выражениями

$$\Phi^*_j[\lambda] = \sum_{i=1}^{I} g_{\Phi}[\lambda^*_{ij}] / I, \tag{3}$$

$$\Phi^*_j[\alpha / \lambda] = \sum_{i=1}^{I} g_{\Phi}[\alpha / \lambda^*_{ij}] / I. \tag{4}$$

Метрическая идентификация зависимости имеет целью обеспечение возможности определения ее вида, позволяющего установить значении функции при фиксированном значении аргумента. При метрической идентификации вероятностной характеристики – установление значения $\Phi[\alpha / \lambda]$ при фиксированном значении α.

Особенность метрической идентификации вероятностных характеристик случайных функций в том, что их определение предполагает выполнение усреднения по совокупности отсчетов. Оценка достоверности [3] получаемых при метрологическом анализе вероятностных характеристик точности идентификации функциональной вероятностной характеристики требует дополнительного усреднения. Указанным особенностям метрологического анализа процедур оценивания вероятностных характеристик до настоящего времени уделяется мало внимания, а практическая потребность в использовании соответствующей информации возрастает. Ниже рассматриваются особенности метрической идентификации распределения плотности вероятности случайных функций.

Идентификация $w_j(\lambda)$ в общем случае предполагает формирование $\{\lambda^*_{ij}\}_{i=1}^{I}$ с последующим определением частости (оценки вероятности) попадания отсчетов в установленные интервалы области определения Λ случайной величины. Соответствующее уравнение имеет вид:

$$\{\lambda_{ij}^*\}_{i=1}^{I} \to w_j^*(\lambda) = \{\{n_s\,\Delta_s^{-1}\,I_s^{-1} / (\lambda_{ij}^* \in \lambda_{s-1},\lambda_s)\}_{i=1}^{I}\}_{s=1}^{S}. \quad (5)$$

Здесь введены следующие обозначения: I – число используемых отсчетов в j-ом идентификационном эксперименте; S – число интервалов; $\Delta_s = \lambda_s - \lambda_{s-1}$ – протяженность i-го интервала; I_s – число отсчетов, для которых справедливо $\lambda_{ij}^* \in (\lambda_{s-1},\lambda_s)$; n_s – число отсчетов, попавших в s-ый интервал.

Полученные результаты позволяют определить погрешность идентификации:

$$\Delta w_j^*(\lambda) = w_j^*(\lambda) - w(\lambda) \quad (6)$$

и исследовать ее зависимость от параметров I, S, $\{\Delta_s\}_{s=1}^{S}$.

При использовании в качестве критерия точности дисперсии

$$D[\Delta w_j^*(\lambda)] = N^{-1}\sum_{j=1}^{N} N_s^{-1}\sum_{s=1}^{S}(w_{js}^*(\lambda_j^*) - w_s(\lambda))^2, \quad (7)$$

где N – число оценок, используемых при определении $D[\Delta w_j^*(\lambda)]\cdot N_s = N\cdot\int_{\lambda_{s-1}}^{\lambda_s} w(\lambda)d\lambda$.

При планировании метрической идентификации распределения плотности вероятности случайной величины $w(\lambda)$ устанавливаются параметры I, S, N. В общем случае их оптимальные значения соответствуют решению системы уравнений:

$$\begin{cases} d(D[\Delta w_j^*(\lambda)]) / dI = 0 \\ d(D[\Delta w_j^*(\lambda)]) / dS = 0 \\ d(D[\Delta w_j^*(\lambda)]) / dN = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Приведенные соотношения позволяют также проводить метрологический анализ и планирование идентификационного эксперимента с помощью имитационного моделирования (машинного эксперимента).

В качестве примера указывается возможность идентификации распределения по закону Симпсона, для которого объем выборки составил 100 отчетов.

Интервал области существования значений [-2;2] делится на S=10, т.е. Δ_s = 0,4, ниже указаны: графическое отображение данных полученных при имитационном моделировании («эксперимент»), теоретическая часть, полученная через аппроксимацию значений («теория»), а также ошибка определения плотности распределения вероятности («ошибка (разность)»).

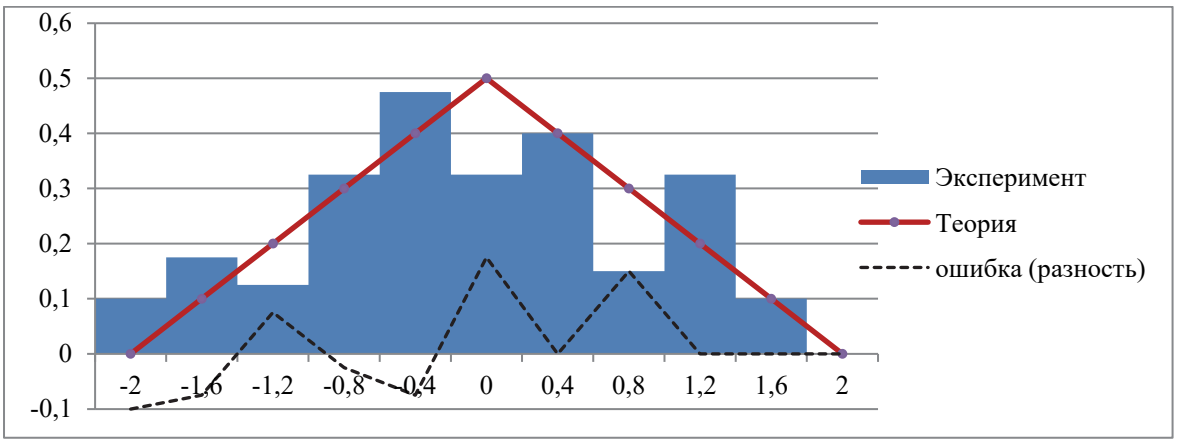


Рисунок. Сравнение экспериментальной и теоретической плотности распределения вероятности с указанием ошибки (разности между этими значениями)

В среднем ошибка определения составила 0.011, что объясняется конечностью используемых интервалов гистограммы, т.к. при их увеличении – это величина ошибки определения

будет снижаться. Появление погрешности также объясняется принятым способом округления и используемым видом аппроксимации. Достоверность результатов определяется неадекватностью используемых математических моделей; конечностью объема используемой при формировании оценки, а также неидеальностью выполняемых преобразований, проявляющимися с учетом особенностей процедур идентификации.

Применение подобного рода метрической идентификации целесообразно в отсутствии априорных знаний о плотности распределения вероятности, которые необходимы для проведения метрологического анализа результатов измерений и имеют специфику, заключающуюся в необходимости учитывать погрешности результатов совместных измерений аргумента и функции, а также погрешности аппроксимации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Цветков Э.И.** Метрология. Модели. Метрологический анализ. Метрологический синтез. Дополнительные главы. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ.
2. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник для высших учебных заведений /[Б.Я. Авдеев, В.В. Алексеев, Антонюк и др.]; под ред. В.В. Алексеева. М.: «Академия», 2007.
3. Tsvetkov E.I., Suloeva E.S. Analysis of the parameters that determine the reliability of the results of a verification of measuring instruments // MEASUREMENT TECHNIQUES Vol. 61 No: 9. 2018. P. 872-877.

E.I. Tsvetkov, E.S. Suloeva
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg

Metric Identification of the Density Distribution of a Random Value

The problem of metric identification of a dependence is considered, which aims to provide the possibility of determining its type by the example of the distribution density of a random variable using probabilistic characteristics.

А. С. МИТЬКИН, В. А. ПОГОРЕЛОВ
Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи, Ростов-на-Дону

Е. Г. ЧУБ
Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МОМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрено решение проблемы «возмущенной» фильтрации на основе негауссовской аппроксимации апостериорной плотности вероятности многомерного марковского вектора состояния. На основе аппроксимации апостериорной плотности вероятности системой уравнений моментов разработан субоптимальный фильтр, позволяющий оценить вектор состояние динамической системы в реальном времени. Показано преимущество предложенного подхода по сравнению с использованием нелинейного обобщенного фильтра Калмана.

Введение. Возможность представления вектора состояния стохастических динамических систем в форме «объект-наблюдатель» делает возможным применение современных методов теории нелинейной стохастической фильтрации [1–5]. В общем случае их использование предполагает решения интегро-дифференциального уравнения в частных производных Стратоновича [6]. Так как уравнение Стратоновича не может быть решено аналитически, то в теории нелинейной фильтрации для получения апостериорных оценок используют различные приближенные методы [7–12]: разложение нелинейных функций уравнений объекта и наблюдателя в ряды Тейлора в окрестности некоторого программного движения; кусочно-полиномиальная аппроксимация нелинейных функций; конечно-разностная аппроксимация апостериорной плотности вероятности (АПВ); гауссовское приближение; замена оценки функции на функцию оценок; замена среднего по множеству средним по времени.

Недостатком первых трех методов является их эффективность при условии независимости коэффициентов сноса и диффузии от пространственной или временной координаты [7]. Для метода аппроксимации функциональными рядами характерна возможность появления отрицательных значений АПВ [8, 9]. Недостатком гауссовской аппроксимации является неизбежность неизвестных отклонений от истинного решения во всех случаях отличия АПВ от нормальной [10]. Метод конечно-разностных схем, использующий дискретное разбиение области существования переменных на k интервалов, позволяет достичь любой точности решения при неограниченном увеличении k. Однако необходимость численного интегрирования $(2k+1)^M$ обыкновенных дифференциальных уравнений ограничивает возможность его практического использования [11, 12]. Отмеченные недостатки существующих методов не позволяют применить их при анализе вероятностных характеристик вектора состояния реальных стохастических динамических систем. В связи с этим предлагаемый доклад посвящен разработке метода фильтрации многомерного марковского процесса системой апостериорных моментов. Особенностью разрабатываемого метода является возможность учесть корреляционные связи между переменными состояния стохастической динамической системы.

Постановка задачи. Пусть стохастический динамический объект описывается нелинейным дифференциальным уравнением в форме Ланжевена

$$\dot{Y} = F_1(Y,t) + F_0(Y,t)\xi_t, \qquad (1)$$

где Y – вектор состояния динамической системы, размерности R; F_i $i=\overline{0,1}$ – известные нелинейные векторные и матричные функции, размерности, соответственно, R и $R\times I$, удовлетворяющие условию Липшица $\forall Y,t$ и дифференцируемые на интервале времени от $(0;t)$ l раз, (величина l выбирается, исходя из требуемой точности представления конкретной функции и на дальнейшие построения принципиального влияния не оказывает), ξ_t – белый

гауссовский вектор-шум размерности I, с матрицей интенсивностей $D_\xi(t)$ наблюдается с помощью измерителя, описываемого с помощью нелинейного стохастического уравнения вида

$$Z = H(Y,t) + \zeta_t, \tag{2}$$

где Z – вектор выходных сигналов измерителя размерности K, $H(Y,t)$ – непрерывная вектор-функция наблюдения размерности K, удовлетворяющая условию Липшица $\forall Y,t$, ζ_t – белый гауссовский вектор-шум размерности K с матрицей интенсивностей $D_\zeta(t)$.

Апостериорная плотность вероятности $\rho(Y,t)=\rho$ такого процесса, удовлетворяющего приведенным выше условиям, описывается уравнением Стратоновича [6]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\sum_{i=1}^{R} \frac{\partial}{\partial Y_i}\left[q_i(Y,t)\rho\right] + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{I} \frac{\partial^2}{\partial Y_i \partial Y_j}\left[b_{ij}(Y,t)\rho\right] + \left[F(t,Y) - F(t)\right]\rho(Y,t), \tag{3}$$

где $q_i(Y,t) = F_i(Y,t) + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{R}\sum_{j=1}^{I} D_k F_{0jk}(Y,t) \frac{\partial}{\partial Y_j} F_{0ik}(Y,t)$, $b_{ij}(Y,t) = \sum_{k=1}^{R} D_k F_{0ik}(Y,t) F_{0jk}(Y,t)$,

$F(Y,t) = -\frac{1}{2}\left[Z - H(Y,t)\right]^T D_\zeta^{-1}\left[Z - H(Y,t)\right]$, $F(t) = \int_{-\infty}^{+\infty}\dots\int_{-\infty}^{+\infty} F(Y,t)\rho\, dY_1 \dots dY_R$.

Требуется найти систему апостериорных моментов, обеспечивающих требуемую точность аппроксимации уравнения (3) на заданном интервале времени функционирования стохастической динамической системы (1) и учитывающее наличие корреляционных связей в её переменных состояния.

Решение задачи. Для решения поставленной задачи будем использовать методику, предложенную в [10]. Умножим обе части уравнения (3) на Y_k и проинтегрируем результат по $Y_1 \dots Y_R$. Считая, что в левой части равенства допустима перемена порядка интегрирования и дифференцирования, имеем

$$\int_{-\infty}^{+\infty}\dots\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial \rho}{\partial t} Y_k\, dY_1 \dots dY_R = \frac{\partial}{\partial t}\int_{-\infty}^{+\infty}\dots\int_{-\infty}^{+\infty} \rho Y_k\, dY_1 \dots dY_R = \frac{\partial}{\partial t} m^k = \dot{m}^k.$$

Используя метод интегрирования по частям, учитывая граничные условия и разложение коэффициентов сноса и диффузии в ряд Тейлора, представим первое слагаемое (коэффициент сноса) в правой части равенства (3) в виде $\sum_{n=0}^{\infty} a^k m_n^k$, где $a_n^k = \frac{\partial^n q_k(m)}{\partial Y_k^n}\frac{1}{n!}$. Второе слагаемое в (3) (коэффициент диффузии), с учетом сделанных выше замечаний, обращается в ноль, а третье слагаемое в (3) можно записать в виде $\sum_{n=0}^{\infty} f_n^{*k} m_n^k$, где $f_n^{*k} = \frac{\partial^n \left(\left[F(Y,t) - F(t)\right]Y_k\right)(m)}{\partial Y_k^n}\frac{1}{n!}$.

Объединяя полученные выражения, найдем уравнения для начальных моментов фазовых координат Y_k

$$\dot{m}^k = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^k m_n^k + \sum_{n=0}^{\infty} f_n^{*k} m_n^k,\ k \in \overline{1,R}. \tag{4}$$

Для нахождения центральных моментов умножим равенство (3) на $\left(Y_k - m^k\right)^j$, а затем проинтегрируем по $Y_1 \dots Y_R$. Проводя указанные выше преобразования, получаем

$$\dot{m}_j^k = j\sum_{n=0}^{\infty} a_n^k m_{n+j-1}^k + \frac{j(j-1)}{2}\sum_{n=0}^{\infty} b_n^k m_{n+j-2}^k + \sum_{n=0}^{\infty} f_n^k m_{n+j}^k,\ \ j > 1. \tag{5}$$

Следует отметить, что в данном случае коэффициент диффузии преобразуется в выражение $\frac{j(j-1)}{2}\sum_{n=0}^{\infty} b_n^k m_{n+j-2}^k$, где $b_n^k = \frac{\partial^n b_{kk}(m)}{\partial Y_k^n}$, а коэффициенты разложения в ряд Тейлора последнего слагаемого определяются следующим образом: $f_n^k = \frac{\partial^n (F(Y,t) - F(t))(m)}{\partial Y_k^n} \frac{1}{n!}$.

Для нахождения смешанных моментов умножим (3) на $\left(Y_{i_0} - m^{i_0}\right)^j \left(Y_{j_0} - m^{j_0}\right)^s$, а затем проинтегрируем полученный результат по $Y_1 \ldots Y_R$. В результате будем иметь для $j \geq 1$, $s \geq 1$

$$\dot{m}_{j,s}^{i_0,j_0} = -j\sum_{n=0}^{\infty} a_n^{i_0} m_{n+j-1,,s}^{i_0,,j_0} - s\sum_{n=0}^{\infty} a_n^{j_0} m_{j,n+s-1}^{i_0,j_0} + \frac{1}{2}\left(j(j-1)\sum_{n=0}^{\infty} b_n^{i_0} m_{n+j-2,s}^{i_0,j_0} + \right. \tag{6}$$

$$\left. + s(s-1)\sum_{n=0}^{\infty} b_n^{j_0} m_{j,n+s-1}^{i_0,j_0} + js\sum_{n=0}^{\infty} b_n^{i_0 j_0 (j_0)} m_{j-1,n+s-1}^{i_0,j_0} + js\sum_{n=0}^{\infty} b_n^{j_0 i_0 (i_0)} m_{n+j-1,s-1}^{i_0,j_0} \right) + \sum_{n=0}^{\infty} f_n^{i_0} m_{j+n,s}^{i_0,j_0},$$

где $a_n^{i_0} := \frac{\partial^n q_{i_0}(m)}{\partial Y_{i_0}^n}\frac{1}{n!}$, $a_n^{j_0} := \frac{\partial^n q_{j_0}(m)}{\partial Y_{j_0}^n}\frac{1}{n!}$, $b_n^{i_0} := \frac{\partial^n b_{i_0 i_0}(m)}{\partial Y_{i_0}^n}\frac{1}{n!}$, $b_n^{i_0 j_0 (j_0)} = \frac{\partial^n b_{i_0 j_0}(m)}{\partial Y_{j_0}^n}\frac{1}{n!}$, $i_0 \in \overline{1,R}$, $j_0 \in \overline{1,I}$, $s \in \overline{1,}$

Объединяя уравнения (4), (5) и (6) получим алгоритм нелинейной фильтрации свободный от недостатков присущих алгоритмам калмановской фильтрации и не требующего априорного предположения о гауссовском распределении АПВ стохастической динамической системы:

$$\dot{m}^k = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^k m_n^k + \sum_{n=0}^{\infty} f_n^{*k} m_n^k, \tag{7}$$

$$\dot{m}_j^k = j\sum_{n=0}^{\infty} a_n^k m_{n+j-1}^k + \frac{j(j-1)}{2}\sum_{n=0}^{\infty} b_n^k m_{n+j-2}^k + \sum_{n=0}^{\infty} f_n^k m_n^k,$$

$$\dot{m}_{j,s}^{i_0,j_0} = -j\sum_{n=0}^{\infty} a_n^{i_0} m_{n+j-1,,s}^{i_0,,j_0} - s\sum_{n=0}^{\infty} a_n^{j_0} m_{j,n+s-1}^{i_0,j_0} + \frac{1}{2}\left(j(j-1)\sum_{n=0}^{\infty} b_n^{i_0} m_{n+j-2,s}^{i_0,j_0} + \right.$$

$$\left. + s(s-1)\sum_{n=0}^{\infty} b_n^{j_0} m_{j,n+s-1}^{i_0,j_0} + js\sum_{n=0}^{\infty} b_n^{i_0 j_0 (j_0)} m_{j-1,n+s-1}^{i_0,j_0} + js\sum_{n=0}^{\infty} b_n^{j_0 i_0 (i_0)} m_{n+j-1,s-1}^{i_0,j_0} \right) + \sum_{n=0}^{\infty} f_n^{i_0} m_{j+n,s}^{i_0,j_0}.$$

Система апостериорных моментов (7) потенциально обеспечивает требуемую точность решения уравнения (3) на заданном интервале времени функционирования стохастической динамической системы (1) и позволяет учесть наличие корреляционных связей в переменных её вектора состояния. Для случая, когда апостериорная плотность вероятности процесса может быть с требуемой точностью аппроксимирована нормальной плотностью распределения, которая зависит только от первых двух моментов, полученная система уравнений сводится к фильтру калмановского типа.

Заключение. Использование (7) позволяет свести решение (3) к интегрированию системы апостериорных моментов, которое может осуществляться известными численными методами [12]. Очевидно, что такое интегрирование существенно более простое с точки зрения практического использования, чем традиционное решение (3) методом сеток [10]. В то же время анализ уравнений (7), показывает, что система апостериорных моментов не замкнута, что затрудняет ее использование. Но в практических приложениях, исходя из физики процесса, можно ожидать определенный вид плотности распределения (3) [2, 3, 5], что в принципе позволяет замкнуть систему дифференциальных уравнений (7) [8, 9].

Разработанный в докладе метод может найти практическое применение в системах радиолокации, навигации, связи и управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Погорелов В.А., Семилеткин А.О., Цицилин А.В., Ломтатидзе К.Т.** Стохастическая модель бескарданной навигационной системы малого беспилотного летательного аппарата // Радиотехника. Т.83, №7(9), 2019. С. 109-119.
2. **Соколов С.В., Погорелов В.А.** Нелинейная динамическая оценка углов ориентации подвижного объекта по распределённым спутниковым измерениям // Измерительная техника. 2019, №3. С. 30-36.
3. Помехозащита радиоэлектронных систем управления летательными аппаратами и оружием: Монография / Под. ред. **В.Н. Лепина**. М.: Радиотехника, 2017. 416 с.
4. **Соколов С.В., Погорелов В.А.** Основы синтеза многоструктурных бесплатформенных навигационных систем. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 182 с.
5. **Розенберг И.Н., Соколов С.В., Уманский В.И., Погорелов В.А.** Теоретические основы тесной интеграции инерциально-спутниковых навигационных систем. М.: Физматлит, 2018. 312 с.
6. **Стратонович Р.Л.** Условные Марковские процессы и их применение к теории оптимального управления. М.: МГУ, 1966. 319 с.
7. **Пугачев В.С., Синицын И.Н.** Теория стохастических систем. М.: Логос, 2004. 1000 с.
8. **Соколов С.В., Ковалев С.М., Кучеренко П.А., Смирнов Ю.А.** Методы идентификации нечетких и стохастических систем. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018, 432 с.
9. **Митькин А.С., Погорелов В.А., Чуб Е.Г**. Использование распределения Пирсона для синтеза субоптимальных алгоритмов фильтрации многомерных марковских процессов // Изв. вуз. Радиофизика. 2015. Т. 58, № 3. С. 244-253.
10. **Тихонов В.И.** Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991. 2470 с.
11. **Тертычный-Даури В.Ю.** Стохастическая механика. М.: Факториал Пресс, 2001. 350 с.
12. **Синицын И.Н.** Фильтры Калмана и Пугачева. М.: Логос, 2006. 640 с.

A.S. Mit’kin, V.A. Pogorelov, (Research Institute of Radio Communication, Rostov-on-Don)
E.G. Chub (Federal State Institution of Higher Education Don State Technical University)

Using the Method of Moments to Solve the Problem of Evaluating Multidimensional Markov Processes

A solution to the problem of "perturbed" filtration based on a non-Gaussian approximation of the a posteriori probability density of a multidimensional Markov state vector is considered. Based on the approximation of the a posteriori probability density by the system of moment equations, a suboptimal filter has been developed that allows us to evaluate the vector state of a dynamic system in real time. The advantage of the proposed approach in comparison with the use of a nonlinear generalized Kalman filter is shown.

Н. А. ЖУКОВА
Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург

АУНГ МЬО ТО
Университет ИТМО, Санкт-Петербург

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СБОРОМ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В статье для решения проблем сбора данных в динамической сети интернета вещей (Internet of Things, IoT) предложен подход, предусматривающий использование моделей и методов анализа социальных сетей наряду с обычно используемыми методами кластеризации. Разработанная гибридная модель отслеживает контакты между узлами, которыми определяются так называемые «социальные отношения» каждого узла, и частоту этих контактов. Модель ограничивается работой только с узлами, связанными «дружбой». Учет «дружественных» отношений между узлами способствует повышению уровня безопасности сбора данных, а также обеспечивает снижение энергопотребления и уменьшение задержек при передаче данных.

Введение. Сбор данных в системах IoT становится все более сложной задачей, что в значительной степени обусловлено переходом от использования статических узлов к использованию множества мобильных узлов. При динамическом изменении топологии сети возникают сложности со сбором данных и определением надежности связей между узлами.

Для решения проблем сбора данных в условиях динамических изменений сети были разработаны модели на основе различных технологий. В работе [1] предложена модель сбора данных с использованием платформы «BeSmart», которая позволяет управлять сбором и обработкой разнородных данных, поступающих от узлов с ограниченными ресурсами. В работе [2] предложена линейная модель, которая основана на туманных (Fog) вычислениях. В работе [3] предложена модель сбора данных, основанная на кластеризации узлов. При использовании перечисленных подходов для сбора данных в динамических сетях выполняются только отдельные требования, предъявляемые к сбору данных в системах интернета вещей (снижение нагрузки на сеть и уменьшение задержки при сборе данных), а вопросам безопасности уделяется недостаточное внимание. Целью настоящего исследования было определение методов анализа социальных сетей, пригодных для применения в динамической сети IoT, отвечающих требованиям надежности и безопасности сбора данных, уменьшения энергопотребления и задержки при сборе данных. При использовании методов анализа социальных сетей в IoT возникло новое понятие – социальный интернет вещей (SIoT) [4].

Так, в SIoT узел *i* связан отношениями «дружбы» с узлами, которые подключаются к этому узлу *i*. Для установления отношений «дружбы» между устройствами (узлами) необходимо выполнить следующие действия: 1) определить частоту «встреч» (контактов) между устройствами; 2) установить максимальную степень «дружбы» для каждого устройства (степень «дружбы» узлов – это показатель количества связей, которые может установить данный узел с другими узлами); 3) собрать данные от всех «максимально дружественных» узлов при помощи методов кластеризации. Предлагаемая модель сбора данных основана на совместном использовании кластеризации, туманных вычислений и методов анализа социальных сетей, что позволяет повысить надежность и безопасность сбора данных в сети IoT.

Распределение степеней узлов (вершин графа) для повышения надежности и безопасности сбора данных. Многие естественно возникающие сети (социальные, коммуникационные, биологические и др.) хорошо моделируются безмасштабными графами. Поэтому для моделирования кластерных сетей, имеющих похожую на естественные сети топологию, наиболее подходящей моделью графа является модель безмасштабной сети.

Степень узла (т. е. число связей узла с другими узлами) можно рассматривать в качестве индикатора количества пакетов, полученных этим узлом. Рассмотрим одну из вершин графа – некоторый узел *i*. Для данного узла *i* полустепень захода $d+1$ является числом дуг графа, входящих в вершину – сам этот узел *i*, тогда как полустепень исхода $d-1$ является числом дуг графа, исходящих из вершины – узла *i*. То есть полустепень исхода показывает, на сколько узлов узел *i* может передавать данные, а полустепень захода определяет количество узлов, от

которых узел i может получать данные. Определяется максимальное количество соединений, которые могут установить центральные узлы кластера, чтобы избежать включения в кластер недопустимых (вредоносных) узлов. Вероятность связи нового узла с центральным узлом кластера c может быть определена следующим образом:

$$P_s = \left(1 - \frac{k_c}{k_{max}}\right) \frac{E_c k_c}{\sum_{i=1}^{N(t)} E_i k_i}, \quad (1)$$

где k_c – количество связей центрального узла; k_{max} – максимальное число связей любого узла в кластере; E_c – энергия центрального узла; $N(t)$ – количество центральных узлов в момент времени t; E_i – энергия узла i; k_i – количество связей узла i. Большое значение $E_c k_c$ показывает возможность подключения нового узла к кластеру, поскольку центральный узел c имеет большой запас энергии. Из формулы (1) следует, что, если степень вершины – центрального узла достигает максимального предельного значения для числа соединений k_{max}, вероятность того, что новый узел сможет установить связь с центральным, станет нулевой. То есть узлы могут отличаться степенью вероятности включения в кластер в зависимости от таких свойств, как энергия и вычислительная мощность, что повышает надежность и безопасность сбора данных.

Выбор сетевых «дружеских» связей для повышения надежности и безопасности сбора данных. Использование методов анализа социальных сетей в IoT позволяет объектам автономно устанавливать так называемые «социальные отношения» [4]. Для таких сетей могут быть определены следующие возможные типы отношений: *отношения между объектами собственности* (Ownership Object Relationship, OOR) – это тип отношений между объектами, которые принадлежат одному пользователю; *социальные объектные отношения* (Social Object Relationship, SOR) – это отношения, которые устанавливаются между объектами, они отражают социальные действия, такие как «встречи» одних узлов с другими; *родительские объектные отношения* (Parental Object Relationship, POR) – устанавливаются между узлами, относящимися к однородными объектами, созданными одним производителем (например, товары одной компании); *объектные отношения совместного размещения* между узлами (Co-location Object Relationship, C-LOR) – это отношения между объектами, которые постоянно существуют в одном и том же месте [4].

Ограничивая «дружбу» с другими узлами числом k_{max}, узлы могут управлять «социальными отношениями». Так, сбор данных на основе кластеризации может выполняться с ограниченного количества «дружественных» узлов, не превышающего k_{max}, что отвечает требованиям безопасности к сбору данных в сети IoT.

Каждый узел управляет запросами «дружбы» с учетом следующих условий:

- каждый узел должен отклонить запрос о «добавлении в друзья» после достижения числа связей, равного k_{max};
- каждый узел должен отсортировать свой «список друзей» в порядке понижения степени «дружбы». Чтобы максимизировать количество «друзей», узел должен принять первых k_{max} «друзей»;
- каждый узел должен отсортировать свой «список друзей» в порядке повышения степени «дружбы». Чтобы свести к минимуму количество друзей, узел должен отклонить первых $\mathrm{k_{max}}$ «друзей».

Стратегия помогает мобильным узлам управлять «списком друзей» – формировать наилучший набор «друзей» k_{max} – и выбирать оптимальный путь для сбора данных.

Управление сбором данных на основе отношений «дружбы». Программное обеспечение на основе туманных вычислений является посредником для установления «дружеских» связей между узлами. При помощи туманных вычислений определяются отношения SOR (социальные объектные отношения) и OOR (отношения между объектами собственности) на основе набора данных некоторого «умного» города [5]. SOR устанавливаются при «случайных встречах» между устройствами. Отношения OOR устанавливаются для устройств, принадлежащих одному пользователю или организации. Поэтому отношения OOR устанавливаются на короткое время, а с течением времени увеличивается число отношений SOR.

При сборе данных предполагается, что алгоритмы на основе туманных вычислений собирают требуемые данные с узлов, между которыми установлены «дружеские связи» (SOR). Один узел может установить «социальную связь» с максимальным числом «друзей» k_{max}. В этом случае сбор данных указанными алгоритмами выполняется с помощью кластеризации. Пусть

200 узлов с одинаковой начальной энергией $2J$ расположены в области моделирования 300×300 м^2. Предполагается, что все узлы имеют одинаковую вычислительную мощность, максимальное число «друзей» k_{max} определяется как 50 узлов для каждого узла. Каждому из 50 узлов, входящих в одну «социальную группу», присваивается идентификатор для сбора данных на основе кластеризации (ID узла, местоположение в текущий момент времени). В одной группе максимальное количество узлов-участников – 50. На рис. 1 показаны идентификаторы узлов в различных группах. На рис. 2 изображен центральный узел кластера, который выполняет сбор данных с 50 узлов «дружбы». На каждой итерации сбора данных центральный узел кластера выбирается из числа этих узлов «дружбы». На рис. 3 и 4 показаны общее потребление энергии и общая задержка при передаче данных по сети соответственно.

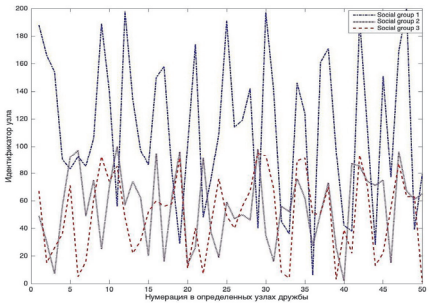


Рис. 1. Идентификаторы устройств определенной «социальной группы» устройств

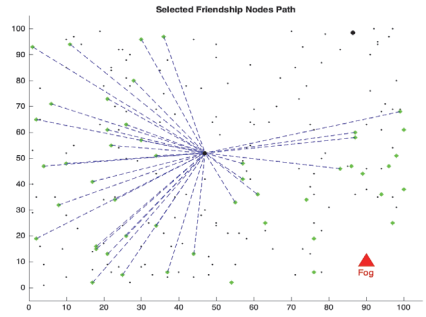


Рис. 2. Пути сбора данных между центральным узлом кластера и выбранными узлами «дружбы»

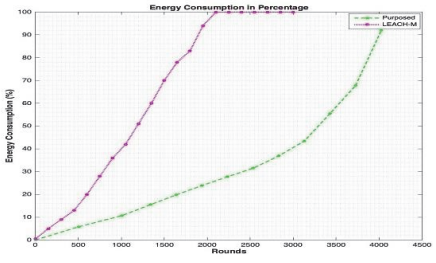


Рис. 3. Общее потребление энергии

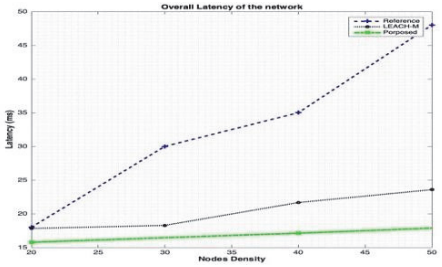


Рис. 4. Общая задержка при передаче данных

Заключение. В данной статье новая модель сбора данных скомбинирована с моделью «дружественных отношений», применяемой при анализе социальных сетей. Группируя узлы с «максимально дружественными» связями, модель помогает избежать использования вредоносных узлов, что способствует повышению безопасности и надежности сбора данных. Результаты экспериментов показали, что применение модели также может снизить энергопотребление и уменьшить задержки при передаче данных по сравнению с традиционными моделями. Планируется дальнейшая разработка предложенной модели с целью использования методов анализа социальных сетей для повышения эффективности управления сбором данных в сетях IoT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fotiou, Nikos et al. “Smart IoT Data Collection.” 2018 IEEE 19th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM) (2018): 588-599.
2. Oma, Ryuji et al. An Energy-Efficient Model of Fog and Device Nodes in IoT. 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA) (2018): 301-306.
3. Fattoum, Marwa et al. A Two-Level Clustering based on Position, Data Correlation and Residual Energy in WSN. 2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC) (2019): 961-966.
4. Atzori, Luigi et al. “SIoT: Giving a Social Structure to the Internet of Things.” IEEE Communications Letters 15 (2011): 1193-1195.
5. Marche, Claudio et al. “A Dataset for Performance Analysis of the Social Internet of Things.” 2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC) (2018): 1-5.

Zhukova Nataly (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg), Aung Myo Thaw (ITMO University, St. Petersburg)

Model of Data Collection Control in the Internet of Things on the Basis of Social Networking Technologies

The paper deals the issues of data collection in a dynamic Internet of Things (IoT) network. An approach is proposed based on the use of compatible models and methods of social networks analysis along with clustering methods commonly used in this case. In this case Internet of Things (IoT) becomes so called Social Internet of Things (SIoT). The developed hybrid model determines frequency of contacts between nodes of the network thus creating social network relationships for each node. After defining friendly social network connections between nodes the model is limited to including into consideration only connections of friendship, taking into account at the same time their distribution by degrees of friendliness. Data collection based on clustering with limited friendship meets not only security requirements, but also helps to reduce energy consumption and data transfer delays. Simulations using the proposed model and comparison of results with those of traditional models shows the enhancement as regards energy saving and delay of data transfer.

Секция 2

■ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АСУ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ■

Т. Л. КАЧАНОВА, Б. Ф. ФОМИН, О. Б. ФОМИН
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

ВНУТРИСИСТЕМНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ

Теория и технологии физики открытых систем (ФОС) охватывают все многообразие состояний систем, исходно заданных эмпирическими описаниями с сотнями и тысячами показателей. Задача ФОС − создать теорию состояний и закономерностей изменчивости любых естественных локаций открытой системы и всей системы в целом на основе знания ее общей онтологии. В докладе представлены результаты исследований базовых моделей двухчастичных внутрисистемных взаимодействий, возникающих в условиях неравновесия и метастабильности. Теория таких взаимодействий − важный раздел теории открытых систем, создаваемой ФОС.

Введение. Физика открытых систем (ФОС) возникла в середине 90-х. Она исследует открытые системы, исходно заданные эмпирическими описаниями, полученными из больших массивов многосортных полимодальных гетерогенных эмпирических данных. В рамках ФОС созданы научные методы и цифровые технологии познания, понимания, оформления и объяснения общей онтологии природных, антропогенных, киберфизических, технических и общественных открытых систем с сотнями и тысячами показателей [1].

Началом ФОС стало решение общей задачи реконструктивного анализа систем [2]−[6]. Это решение привело к преодолению фундаментальной сложности открытых систем и обеспечило познание их общей онтологии. Ключевое значение для становления ФОС имело создание языка систем. Благодаря языку был раскрыт внутренний код общей онтологии систем. Через язык реконструктивный анализ систем получил статус научной теории [7]−[9]. Принципиальную роль в развитии теории ФОС сыграло решение задачи дизайна состояний. Познанная (реконструктивный анализ), научно понятая (язык систем) общая онтология систем стала оформленным теоретическим знанием. Дизайн состояний дал научный ответ на вопрос, «каким образом общая онтология систем связана с ключевыми понятиями действительного мира систем – показателями, состояниями, свойствами показателей, свойствами состояний, изменчивостью показателей, изменчивостью состояний, изменчивостью свойств?» [10]. Шагом большой важности для утверждения теории ФОС стало создание квалитологии онтологического знания. Возникли методы анализа ценности (правильности, полноты, завершенности) онтологического знании. Были получены ресурсы системного знания (информационный, интеллектуальный, когнитивный, технологический) для исследовательской, аналитической и проектной деятельности в сложных предметных областях [11].

В рамках ФОС возникла многомерная знание-центрическая системная аналитика [1]. Онтология систем и ресурсы системного знания были подвергнуты предметной экспертизе и преобразованы в ресурсы решений общесистемных задач. На этой основе возникли научные методы многомерной аналитики для сложных предметных областей (солнечно-земная физика, геномика, безопасность (радиационная, химическая, социальная), экономика, бизнес) [12]−[20].

Созданный арсенал научных методов и цифровых технологий ФОС обеспечил возможность создания и исследования моделей открытых систем в их естественных масштабах и реальной сложности. Такие модели охватывают все многообразие равновесных состояний систем и

множественные системообразующие механизмы, формирующие эти состояния в условиях неравновесных ограничений.

Уже в конце 90-х методом реконструктивного анализа были получены базовые модели внутрисистемных взаимодействий в условиях неравновесия, метастабильности и резонансов. Разработка научной теории базовых видов взаимодействий была отложена до построения основ теории равновесных состояний открытых систем. К настоящему времени работа над этой теорией завершена. Созданы необходимые условия для построения теории ФОС, способной раскрыть, понять и объяснить закономерности изменчивости естественных локаций открытой системы и всей системы в целом. Построение такой теории − сверхзадача ФОС. Создание основ этой теории связано с исследованием различных видов моделей внутрисистемных взаимодействий. Доклад посвящен решению этой задачи и обзору полученных результатов.

Закономерности изменчивости открытых систем. Согласно теории ФОС изменчивость открытых систем в условиях неравновесия характеризуют внутрисистемные взаимодействия: два вида базовых взаимодействий; четыре вида 2-двухчастичных взаимодействия; два вида 3-частичных взаимодействий [2], [4], [21]. Реальная изменчивость систем проявлена многочастичными взаимодействиями, представляющими собой всевозможные слияния различных видов, типов, форм, вариантов и способов реализации внутрисистемных взаимодействий. Результаты исследований 2-частичных взаимодействий даны общим обзором. Актуализацию выводов теории 2-частичных взаимодействий иллюстрирует пример из проекта «Социальная напряженность в округах и регионах Российской Федерации». Инновационную ценность сообщаемых результатов иллюстрирует проект «DAP OSEESO» Международной программы «EcoCleanOcean».

Взаимодействие по модели «Подобие» (модель SIM (англ. – similarity)). Есть три типа модели подобия. Два типа − взаимодействие по подобию, третий тип – взаимодействие по псевдоподобию. Первый тип взаимодействия по подобию имеет четыре формы, две из них отвечают подобию «Синхрония» (смысловое тождество участников взаимодействия), две другие − подобию «Асинхрония» (смысловое различие участников взаимодействия). Для второго типа модели подобия характерно отсутствие системных механизмов, детерминирующих совместную изменчивость центров порядка локаций системы. Такой тип модели устанавливает факт сходства частных аспектов системообразующих механизмов собственных качеств системы, участвующих во взаимодействии. Третий тип взаимодействия описывается моделью псевдоподобия, ее участники − псевдосинглеты. Во взаимодействие по псевдоподобию вовлечен третий участник. Центр порядка этого участника входит в среду проявления модели псевдоподобия. Функция каждого псевдосинглета определяется способами и вариантами включения модели псевдоподобия в локацию третьего участника. Взаимодействие порождает локальные системные механизмы, влияющие: на центры порядка участников по обратной связи; на псевдоособые величины участников модели; на деструкцию факторов третьего участника [22], [23]. На базе модели SIM при определенных условиях возникает 3-частичное взаимодействие по модели присоединения (*модель ADD (англ. – addition*)), проявляющее один из возможных системных механизмов блокировки [24].

Взаимодействие по модели «Переключение» (модель SWI (англ. – switching)). Теорией ФОС установлены три типа взаимодействия по переключению. Каждый тип имеет три формы проявления − Y, N, B [24]. Для первого типа характерны: предельно полная слитность участников взаимодействия (Y); неполная слитность участников взаимодействия (N); режим перестройки без переключения и с сохранением памяти о состояниях участников (B). Модель переключения первого типа выявляет характерное свойство центров порядка модели, проявляющееся в способности одного из них «скачком» изменять уровень своего значения при неизменном уровне значения другого центра. При втором типе взаимодействия по подобию его проявления определяются условиями «соприкосновения» участников. Теория взаимодействия третьего типа утверждает: вершины псевдобаз наделены особой смысловой активностью, играют роль локальных (глобальных) параметров системы; уровни значений псевдоособых вершин детерминирует совместная изменчивость вершин псевдобаз; среда проявления модели формирует механизм детерминации, реализуемый по модели первого типа; модели первого и третьего типов имеют согласованную совместную изменчивость всех величин; главным механизмом модели первого и третьего типов является переход от формы Y к форме N (и обратно) с сохра-

нением (ослаблением) свойства слитности участников. В модели первого типа условия перехода определяют глобальные механизмы системы. В модели третьего типа условия перехода задают глобальные механизмы системы и параметры локального действия.

Другие 2-частичные взаимодействия. Внутрисистемные 2-частичные взаимодействия по модели «Разделение» *(модель SEP (англ. – separation))* имеют четыре типа: YY − эталонный тип взаимодействия (проявляется в 2-х формах, 4 вариантах); OS, OO, BB − не эталонные типы. Каждый тип имеет 2 формы, каждая форма типа проявляется в 4-х, 2-х и 6-и вариантах соответственно. Структура модели SEP двойственна по отношению к дублетной структуре модели SWI. Частным случаем модели SEP является квазидублет ABS (*англ. – absorption)*, характерной особенностью которого является активное участие центров порядка в формировании равновесных состояний естественных локаций системы. Участники такой модели не равноправны, их взаимодействие − направленное, нацелено на «поглощение» одного участника другим.

Модель «Деление» *(модель DIV (англ. – division)* является производной из модели SEP, имеет двойственную структуру и 4 типа: YY − эталонный тип; OS, OO, BB − не эталонные типы. Каждый тип проявляется в 2-х типичных и 2-х не типичных формах, каждая форма имеет 2 варианта. Все формы и варианты модели DIV вместе с формами и вариантами модели SEP определяют весь спектр механизмов внутрисистемных взаимодействий, устанавливающих детерминацию уровней значений показателей состояния системы на особых шкалах, локализацию экстремумов величин, неустойчивость значений, готовность к значительному изменению уровней значений.

Взаимодействия по модели «Смешение» *(модель MIX (англ. – mixture)* имеют 2 формы, каждая из которых определяет один эталонный тип (собственное качество системы заблокировано) и четыре не эталонных тип. Не эталонный тип B имеет 2 формы и 12 вариантов (разрушение локаций системы); не эталонный тип S имеет 2 формы и 4 варианта (механизм сходства, аналогичный модели взаимодействия по подобию); не эталонный тип D имеет 2 формы и 4 варианта (взаимосвязь центров порядка системы по принципу сходства изменчивости величин); не эталонный тип O имеет 2 формы и 16 вариантов (отношение предпочтения между двумя конкретными системными механизмами). Двойственность структуры для модели MIX не типична.

Пример актуализации. В рамках проекта «Социальная напряженность в округах и регионах РФ» для каждого региона России актуализированы все виды, типы, формы, варианты и способы проявления внутрисистемных 2-частичных взаимодействий [25], [26]. Результаты актуализации взаимодействий в социальной системе региона «Санкт-Петербург»:

- *модели SIM* − 149 (первого типа − 38, второго типа − 22, третьего типа − 89);
- *модели SWI − 57* (первого типа − 23, второго типа − 2, третьего типа −32);
- *модели SEP* – 34 (двойные – 18 (вариант 1–3, вариант 2–4, вариант 3–6, вариант 4–5)); модели ABS – 20 (8 образуют пару с SEP);
- *модели DIV* – 31 (двойные – 24 (вариант 1–0, вариант 2–1, вариант 3–3, вариант 4–1, вариант 5–0, вариант 6 – 0, вариант 7 – 3, вариант 8 – 4), одинарные – 7 (вариант 1 – 0, вариант 2 – 0, вариант 3–1, вариант 4–3, вариант 5–1, вариант 6–0, вариант 7–2, вариант 8–0)), варианты 1, 2, 5, 6 (нетипичные) встречаются редко, структура модели для этих вариантов обычно 1-частичная;
- *модели MIX* – 19 ((вариант 1–6, вариант 2–1, вариант 3–9, вариант 4–3), двойные – 1).

Все актуализированные взаимодействия научно поняты и получили рациональное объяснение.

Инновационная ценность и прикладная значимость. Проект «DAP OSEESO» (*Digital Analysis Platform "Ontology, State, Evolution of Ocean Ecosystems"*) международной программы *"Eco-CleanOcean"* реализуется на базе ФОС. Цель проекта − создать цифровую аналитическую платформу, способную обеспечить познание океана в широком смысле, стать важным инструментом комплексных междисциплинарных научных исследований экосистем мирового океана. Задачи «DAP OSEESO»: автоматическое производство из больших массивов эмпирических данных научно-достоверного знания об онтологии, состояниях и изменчивости экосистем океана; создание и эксплуатация проактивной многопрофильной полиморфной многомерной знание-центрической аналитики экосистем; автоматическая генерация «умных моделей», «цифровых двойников» и «цифровых сервисов с искусственным интеллектом» [27].

Заключение. Объекты ФОС − открытые системы в их естественных масштабах и реальной сложности, заданные эмпирическими описаниями. Предмет ФОС − преодоление сложности

открытых систем и познание их онтологии, создание теории открытых систем на основе онтологического знания, построение многомерной знание-центрической аналитики для системных исследований в сложных предметных областях, построение на основе знания «умных моделей», «цифровых двойников» и «цифровых сервисов с искусственным интеллектом». Прикладная цель ФОС − полная автоматизация системных исследований на базе программного комплекса платформенного уровня с искусственным интеллектом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kachanova T., Fomin B., Fomin O. Generating scientifically proven knowledge about ontology of open systems. Multidimensional knowledge-centric system analytics // Ontology in Information Science, InTech, Rijeka. 2018, pp. 169-204.
2. Качанова Т., Фомин Б. Основания системологии феноменального. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 1999. 180 с.
3. Качанова Т., Фомин Б. Метатехнология системных реконструкций. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2002. 336 с.
4. Качанова Т., Фомин Б. Технология системных реконструкций. СПб.: Политехника. 2003. 146 с
5. Kachanova T., Fomin B. Physics of open systems: Generation of system knowledge // J. Systemics, Cybernetics and Informatics. 2013. 11(2), pp. 73-82.
6. Kachanova T., Fomin B. Cognition of ontology of Open Systems // Procedia Computer Science Journal. 2017. 103, pp. 339-346.
7. Качанова Т., Фомин Б. Введение в язык систем. СПб.: Наука. 2009. 340 с.
8. Агеев В.О., Качанова Т.Л., Фомин Б. Ф., Фомин О.Б. Язык открытых систем и экспертиза системного знания // Труды VIII Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO’09). М.: ИПУ РАН, 2009. С. 144-190.
9. Fomin B.F., Turalchuk K.A., Kachanova T.L., Fomin O.B. Scientific understanding of ontological knowledge about open systems that is automatically mined from big data// Proceedings of the 33rd International Business Information Management Assotiation Conference, IBIMA 2019, Granada 10-11 apr. 2019. Education Exellence and Innovation Management through Vision 2020. pp. 8870-8876.
10. Качанова Т., Фомин Б. Методы и технологии генерации системного знания. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. 132 с.
11. Качанова Т., Фомин Б. Квалитология системного знания. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. 132 с.
12. Fomin B., Kachanova T., Khodachenko M., Belisheva N., Lammer H., Hanslmeier A., Biernat H., Rucker H. Global system reconstructions of the models of solar activity and related geospheric and biospheric effect // Proc. of 39th ESLAB Symposium “Trends in Space Science and Cosmic Vision 2020”. Noordwijk. 2006, pp. 73-82.
13. Ageev V., Fomin B., Fomin O., Kachanova T., Chen C., Spassova M., Kopylev L.: Physics of open systems: A new approach to use genomics data in risk assessment // The Continuum of Health Risk Assessments. InTech. 2012, pp. 135-160.
14. Ageev V., Kachanova T., Kopylev L., Spassova M., Fomin B., Fomin O., Chen W. Physics of Open Systems: Effects of the Impact of Chemical Stressors on Differential Gene Expression // Cybernetics and Systems Analysis. 2014. V. 50, Issue 2, March, pp. 218-227.
15. Агеев В.О., Арасланов А.В., Качанова Т.Л., Туральчук К.А., Фомин Б.Ф., Фомин О.Б. Генерация системного знания по проблемам социальной напряженности в регионах России //НТВ СПбГПУ, № 2-1, (147) 2012. С. 300-308.
16. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Системная онтология классов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», № 7, 2015. С. 25-36.
17. Kachanova T.L., Turalchuk K.A., Fomin B.F. Class Reconstruction in the Space of Natural System Classification // XIII International Symposium Intelligent Systems 2018 (INTELS’18), October 22-24, 2018, Saint Petersburg, Russia. Procedia Computer Science, Volume 150, 2019, P. 140-146.
18. Качанова Т.Л. Естественная классификация острых отравлений фосфорорганическими веществами / Т.Л. Качанова, К.А. Туральчук, Б.Ф. Фомин и др. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. Т. 8. С. 8-17.
19. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Системные эффекты многофакторных воздействий в открытых системах// Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», № 1, 2017. С. 28-38. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», № 7, 2015. С. 25-36.
20. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Применение метода определения типологии системных эффектов многофакторных воздействий // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», № 2, 2017. С. 19-29.
21. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Симметрии, взаимодействия в локальностях, компоненты поведения сложных систем/Издательско-полигрфческий центр СПбГЭТУ. СПб. 1998. 126 с. (Препринт №2).
22. Fomin B.F., Kachanova T.L., Fomin O.B., Turalchuk K.A., “Intrasystem Interactions Based on the Model of Similarity”. 2019 III International Conference on Control in Technical Systems (CTS), 30 Oct.-1 Nov. 2019, St. Petersburg, Russia. IEEE, 2020. P. 125-129.
23. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «подобия» (теория) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 7. С. 70-79.
24. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «переключения» (теория) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2020. № 6. (в печати).
25. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «подобия» (актуализация) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 7. С. 18-31.
26. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «переключения» (актуализация) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2020. № 7. (в печати).
27. Fomin B.F., Kachanova T.L., Fomin O.B. Digital Twins of Open Systems. In: Arseniev D., Overmeyer L., Kälviäinen H., Katalinić B. (eds) Cyber-Physical Systems and Control. CPS&C 2019. St. Petersburg, Russia, 10-12 June 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 95. Springer, Cham. 2019. pp. 305-314.

T.L. Kachanova, B.F. Fomin, O.B. Fomin (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”)

Intrasystem Interactions in Open Systems

Theory and technologies of physics of open systems (POS) cover all variety of states of the systems, initially defined by their empirical descriptions that include hundreds and thousands of variables. POS's task is to create a theory of states and variability regularities for any natural locations of open system as well as the system as a whole on the basis of knowing its general ontology. This report provides results of studying the basic models of two-particle intrasystem interactions that arise when non-equilibrium and metastability take place. Such interactions' theory is an important section of open systems' theory being created by POS.

В. А. БОГАТЫРЕВ
Университет ИТМО, Санкт-Петербург

А. В. БОГАТЫРЕВ, С. В. БОГАТЫРЕВ
АО Санкт-Петербургский центр компетенций NEO, Санкт-Петербург

РЕЗЕРВИРОВАННОЕ МНОГОПУТЕВОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ НЕОДНОРОДНОГО ПО КРИТИЧНОСТИ ЗАДЕРЖЕК ПОТОКА С ЗАДАНИЕМ ПУТЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРОХОЖДЕНИЯ УЗЛОВ ДЛЯ РЕПЛИК ЗАПРОСОВ

Предложена аналитическая модель оценки вероятности своевременности резервированного обслуживания неоднородного потока, предполагающего создание реплик запросов с кратностью, зависящей от суммарного допустимому времени ожидания в последовательности узлов, задействованных в обслуживании запроса.

Введение. Высокая надежность отказоустойчивость и готовность структурно-резервированных информационных систем и сетей [1–4] может поддерживаться на основе многопутевой маршрутизация [5, 6], при которой заранее прописывается основной и резервные маршруты (пути), что позволяет после отказов узлов основного достаточно быстро реконфигурировать систему с активацией резервного пути. Для инфокоммуникационных систем, работающих в реальном времени, в том числе в составе киберфизических систем [7–9], в ряде случаев для поддержки функциональной надежности требуется обеспечить непрерывность вычислительного процесса и своевременность обслуживания запросов при случайных отказах и злонамеренных воздействий [10–12].

Критерием эффективности многопутевого обслуживания в реальном времени является вероятность своевременного выполнения запросов с учетом прохождения через все узлы, последовательно задействованные в вычислительном процессе.

Вероятность своевременного и безошибочного обслуживания в кластерных системах и системах многопутевых передач в определенных условиях удается повысить в результате резервированного обслуживания, при котором создаются реплики запросов с заданием для каждой из них пути прохождения узлов, последовательно задействованных в вычислительном процессе (процессе передачи данных).

В исследуемых системах условием своевременности многопутевого резервированного обслуживания является прохождение хотя бы одной реплики всех узлов, составляющих путь ее обслуживания, за время меньшее заданного предельно допустимого значения.

Для неоднородного потока по критичности к времени ожидания запросов критерий эффективности заключается в вероятности своевременного выполнения всех типов запросов [7–9].

При неоднородности потока запросов по предельно допустимому времени ожидания, в данной статье исследуется потенциальная возможность повышения вероятности своевременного выполнения запросов всех типов в результате управления кратностью резервирования в зависимости от их критичности к задержкам в очередях.

Сложность оценки вероятности своевременности многопутевого резервированного обслуживания обусловлена необходимостью учета накопления времени ожидания в узлах, составляющих пути последовательного прохождения реплик запроса.

Особенность предлагаемой оценки искомой вероятности заключается вычисление при прохождении репликой очередного узла, включенного в маршрут ее обслуживания, вероятности не превышения остаточного допустимого времени ожидания с учетом средних задержек в очередях ранее пройденных узлов.

Предлагаемый доклад посвящен построению аналитической модели вероятности своевременности резервированного обслуживания неоднородного потока запросов и направлен на обоснование кратности резервирования запросов различной критичности к задержкам обслуживания с целью обеспечения своевременности обслуживания всех запросов неоднородного потока.

Модель резервированного обслуживания. Рассмотрим системы с неоднородностью входного потока по критичности к ожиданию запросов при их последовательном прохождении через m функциональных узлов. Будем предполагать, что i-й узел, зарезервирован с кратно-

стью n_i. Число создаваемых реплик (кратность резервирования) запросов зададим в зависимости от предельно допустимого времени их ожидания. Для каждой реплики задается маршрут (путь) последовательного прохождения m узлов, задействованных в ее обслуживании.

При прохождении одной из k_j реплик j-потока через i-й узел вероятность не превышения предельно-допустимого времени t_j с учет средних задержек в очередях ранее пройденных узлов вычислим как

$$P_{ij} = 1 - v_i \left[\sum_{j=1}^{N} \frac{\alpha_j \Lambda k_j}{n_i} \right] e^{\left(\frac{\alpha_j \Lambda k_j}{n_i} - \frac{1}{v_i} \right) \left(t_j - \sum_{g=1}^{i-1} w_g \right)},$$

где v_i – среднее время выполнения запроса i-м узлом с учетом всех N типов запросов, Λ – интенсивность суммарного потока запросов (без репликации), α_j – доля запросов j-го типа, t_j – предельно допустимое время ожидания для запросов j-го типа; wg – среднее время ожидания в g-м узле, включенном в путь выполнения [13] запроса,

$$w_g = \frac{\left(\Lambda_g v_g^2 \right)}{1 - \Lambda_g v_g},$$

$$\Lambda g = \sum_{j=1}^{N} \frac{\alpha_j \Lambda k_j}{n_g}.$$

Вероятность не превышения суммарного допустимого времени t_j при прохождении пути одной конкретной реплики запроса j-го типа и хотя бы одной из k_j реплик этого типа, определим соответственно как:

$$P_j = \prod_{i=1}^{m} P_{ij},$$

$$R_j = 1 - (1 - P_j)^{k_j}.$$

Вероятность своевременности обслуживания всех типов запросов неоднородного потока вычислим как:

$$R = \prod_{j=1}^{N} \left(1 - (1 - P_j)^{k_j} \right).$$

Результаты расчетов вероятности своевременного обслуживания. При расчетах будем предполагать, что имеется неоднородный поток, включающий два типа запросов (N=2), для первого из них предельно допустимое суммарное время ожидания во всех m узлах, задействованных в процессе обслуживания, t_1=0,1 с, а для второго t_2=0,5 с. Среднее время обслуживания запросов разных типов во всех узлах одинаково и равно v=0,1 с.

На рис. 1 приведена зависимость вероятности своевременного обслуживания запросов двух типов от интенсивности суммарного входного потока запросов Λ, а на рис. 2 от кратности резервирования запросов первого типа. Резервирование запросов второго типа не предполагается. На рис. 1 вероятности своевременного выполнения всех типов запросов R соответствуют кривые 1–3 при кратности резервирования запросов первого типа k= 1, 2, 5 и их доли α=0,1. На рис. 2 для интенсивности суммарного потока Λ=5 1/с кривые 1–4 соответствуют вероятности своевременного обслуживания запросов двух типов при α=0,2, 0,3, 0,4, 0,5. Расчет проведен при последовательном прохождении всех реплик запросов через m=5 узлов, каждый из которых зарезервирован с кратностью n=10/1.

Из представленных зависимостей можно заключить, что резервирование наиболее критичных к допустимому времени ожидания запросов позволяет повысить вероятность своевременного выполнения как наиболее критичных запросов, так и всей их совокупности. При этом существует оптимальная кратность резервирования запросов, зависящая от их критичности к допустимому времени ожидания, обеспечивающая максимум вероятности своевременного выполнения всех запросов неоднородного потока. Причем эффект от резервирования критичных к задержкам запросов наиболее рельефно проявляется в важном для практики случае обеспечения высокой вероятности своевременного выполнения запросов неоднородного потока.

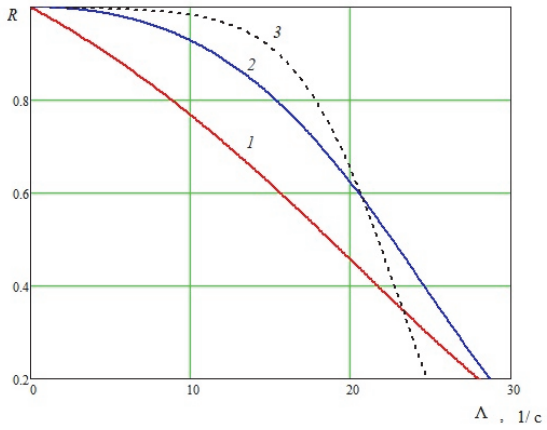


Рис. 1. Зависимость вероятности своевременного обслуживания от интенсивности входного потока запросов

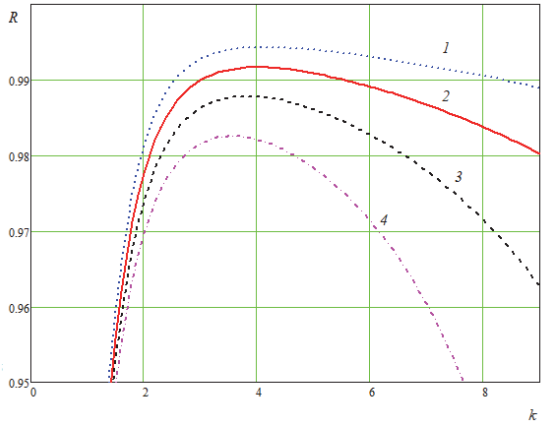


Рис. 2. Зависимость вероятности своевременного обслуживания запросов от кратности резервирования запросов первого типа

Предложенные модели могут быть использованы при оптимальном проектировании компьютерных систем реального времени, в том числе управляющих и коммуникационных систем, работающих [14–16] в составе киберфизических систем [17–19], разрабатываемых в рамках концепции построения высоконадежных систем с малыми задержками передач (Ultrareliable and Low-Latency Wireless Communication) [20–23].

Заключение. Предложена аналитическая модель оценки вероятности своевременности резервированного обслуживания, неоднородного потока, последовательностью резервированных узлов системы, предполагающей репликацию запросов с кратностью, зависящей от их критичности к допустимому времени ожидания запроса.

Показана, что резервирование наиболее критичных к допустимому времени ожидания запросов позволяет повысить вероятность своевременного выполнения всех запросов неоднородного потока.

Показано целесообразность оптимизации кратность резервирования запросов в зависимости от их критичности к допустимому времени ожидания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Seontae Kim, Young-ri Choi. Constraint-aware VM placement in heterogeneous computing clusters. *Cluster Computing* 23(SI) March 2020 71-85.
2. Yang C., Liu J., Hsu C. *et al.* On improvement of cloud virtual machine availability with virtualization fault tolerance mechanism. *J Supercomput* 69, 1103–1122 (2014).
3. Jo C., Cho Y., Egger B.: A machine learning approach to live migration modeling. *In: Proceedings of the 2017 Symposium on Cloud Computing*, vol. 17, pp. 351–364. SoCC (2017)
4. Keller G., Lutfiyya H.: Dynamic management of applications with constraints in virtualized data centres. In: Proceedings of IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM) (2015)
5. Prasenjit Chanak, Tuhina Samanta, Indrajit Banerjee Fault-tolerant multipath routing scheme for energy efficient wireless sensor networks. *International Journal of Wireless & Mobile Networks* (IJWMN) Vol. 5, No.2, April 2013 p 33-45.
6. Rajeev V., Muthukrishnan C.R. Reliable backup routing in fault tolerant real-time networks. Proceedings. *Ninth IEEE International Conference on Networks*, ICON 2001.
7. Bogatyrev, A.V., Bogatyrev, V.A., Bogatyrev, S.V. Multipath Redundant Transmission with Packet Segmentation (2019) *2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2019*, art. no. 8840643. doi: 10.1109/WECONF.2019.8840643
8. Bogatyrev S.V., Bogatyrev V.A., Bogatyrev A.V. Redundant maintenance of a non-uniform query stream by a sequence of nodes that are grouped together in groups. *2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems*, WECONF 2020 9131463 DOI: 10.1109/WECONF48837.2020.9131463
9. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V. Timely Redundant Service of Requests by a Sequence of Cluster. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2590. pp. 1-12.
10. Yan J., Zhang M., Fu Z. An intralogistics-oriented Cyber-Physical System for workshop in the context of Industry 4.0 (2019) *Procedia Manufacturing*, 35, pp. 1178-1183. http://www.journals.elsevier.com/procedia-manufacturing doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.074
11. Zakoldaev D.A., Korobeynikov A.G., Shukalov A.V., Zharinov I.O. Cyber and Physical Systems Technology Classification for Production Activity of the Industry 4.0 Smart Factory (2019) *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 582 (1), art. no. 012007. https://iopscience.iop.org/journal/1757-899X doi: 10.1088/1757-899X/582/1/012007

12. Bogatyrev V., Derkach A. Evaluation of a cyber-physical computing system with migration of virtual machines during continuous computing. Computers 2020 9(2),42doi:10.3390/computers9020042. www.mdpi.com/journal/computers
13. Kleinrock L. Queueing Systems: Volume I – Theory. New York: Wiley Interscience. 1975 p. 417. ISBN 978-0471491101
14. Sovetov B.Y., Tatarnikova T.M., Cehanovsky V.V. Detection system for threats of the presence of hazardous substance in the environment (2019) *Proceedings of 2019 22nd International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2019*, art. no. 8903771, pp 121-124
15. Astakhova T.N., Verzun N.A., Kasatkin V.V., Kolbanev M.O., Shamin A.A. Sensor network connectivity models (2019) *Informatsionno-Upravliaiushchie Sistemy*, (5), pp. 38-50. http://www.i-us.ru/index.php/ius/article/view/4566/2609doi: 10.31799/1684-8853-2019-5-38-50
16. Ya S.B., Tatarnikova T.M., Poymanova E.D. Organization of multi-level data storage (2019) *Informatsionno-Upravliaiushchie Sistemy*, 2019 (2), pp. 68-75. https://www.i-us.ru/jour/article/view/469/399 doi: 10.31799/1684-8853-2019-2-68-75
17. **Абрамян Г.В**. Одноплатные компьютеры arduino как аппаратные средства программирования цифровых робототехнических и киберфизических систем // Преподавание информационных технологий в российской федерации: Материалы семнадцатой открытой всероссийской конференции /отв. ред. А.В. Альминдеров. 2019. с. 322-325.
18. Bogatyrev V.A. Fault Tolerance of Clusters Configurations with Direct Connection of Storage Devices. *Automatic Control and Computer Sciences - 2011*, Vol. 45, No. 6, pp. 330-337
19. Zakoldaev D.A., Korobeynikov A.G., Shukalov A.V., Zharinov I.O. Workstations Industry 4.0 for instrument manufacturing (2019) *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 665 (1), art. no. 012015. https://iopscience.iop.org/journal/1757-899X/ doi: 10.1088/1757-899X/665/1/012015
20. Murtaza Ahmed Siddiqi1, Heejung Yu and Jingon Joung. 5G Ultra-Reliable Low-Latency Communication Implementation Challenges and Operational Issues with IoT Devices. *Electronics* 2019, *8*, 981; doi:10.3390/electronics8090981 www.mdpi.com/journal/electronics
21. Ji H., Park S., Yeo J., Kim Y., Lee J., Shim B. Ultra-Reliable and Low-Latency Communications in 5G Downlink: Physical Layer Aspects. *IEEE Wirel. Commun.* 2018, *25*, 124–130.
22. Sachs J., Wikström G., Dudda T., Baldemair R., Kittichokechai K. 5G Radio Network Design for Ultra-Reliable Low-Latency Communication. *IEEE Netw.* 2018, *32*, 24–31.
23. Bennis M., Debbah M., Poor H.V. Ultrareliable and Low-Latency Wireless Communication: Tail, Risk and Scale. *Proc. IEEE* 2018, *106*, 1834–1853.

V.A. Bogatyrev, (ITMO University, Saint Petersburg)
S.V. Bogatyrev, A.V. Bogatyrev JSC NEO Saint Petersburg Competence Center, Saint Petersburg)

Redundant Multipath Service of Non-uniform Criticality of Flow Delays with Setting Sequential Paths of Nodes for Query Replicas

Proposed analytical model estimates the probability of timely reserve service non-uniform flow, involving the creation of replicas queries with a frequency that depends on the total time allowed in the sequence of nodes involved in the service request

О. В. КОФНОВ, Б. В. СОКОЛОВ, В. А. УШАКОВ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург

МНОГОВАРИАНТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОАКТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ИМИ

В докладе показано, что при проактивном управлении сложными техническими объектами (СТО) очень важно осуществлять многовариантное прогнозирование их состояния. Предлагается новый подход, базирующийся, во-первых, на оригинальном логико-динамическом описании исследуемых процессов, и, во-вторых, на построении и аппроксимации областей достижимости (ОД) исследуемых динамических процессов, которые описывают все множество потенциальных траектории движения СТО многомерном пространстве системотехнических параметров. Приводятся примеры практической реализации в ракетно-космической области.

Введение. Одной из характерных особенностей современных и перспективных сложных технических объектов (СТО) является высокая инерционность (значительные задержки) в подготовке и реализации управляющих воздействий, обеспечивающих требуемое качество их функционирования. При этом за время сбора, обработки, анализа данных и информации о состоянии СТО относительно некоторого заданного момента времени *t'*, а также планировании и выполнении процессов управления ею, из-за воздействия возмущающих факторов, которые начали действовать на саму СТО уже за *t'* и никак не учитывались (не прогнозировались). В этом случае СТО может уже оказаться совсем в другом состоянии (в общем случае многоструктурном макросостоянии). Для того, чтобы компенсировать данный недостаток классического реактивного управления для СТО была предложена технология проактивного управления [1].

Одним из конструктивных способов многовариантного описания (многовариантного прогнозирования) возможных сценариев поведения СТО в динамически изменяющихся условиях является способ, базирующийся на построении и аппроксимации многомерных областей достижимости специально сконструированных логико-динамических моделей (ЛДМ), конструктивно описывающих функционирование данных систем. В ранее опубликованных научных статьях приведено достаточно много конкретных примеров указанного варианта формализации соответствующей управляемой структурной динамики СТО [1, 3].

В этом случае задача многовариантного прогнозирования возможных сценариев поведения СТО (в том числе и задача расчета значений показателей целевых и информационно-технологических возможностей (показателей качества управления) может быть интерпретирована как задача оценивания управляемости соответствующей ЛДМ, построения соответствующего множества (области) достижимости $D(t, T_0, x(T_0))$, которое является фундаментальной характеристикой указанной ЛДМ [2]. На рис. 1 приведен пример графического изображения множества достижимости (области достижимости) в пространстве двух показателей качества, характеризующих функционирование СТО. Знание данного множества, по существу, заменяет собой всю необходимую для решения задач проактивного управления СТО информацию о динамике системы, её основных ограничениях. В этом случае прогнозируемые многоструктурные макросостояния СТО, в которых она может оказаться, а также значений показателей качества управления получаются в результате формирования областей и проектирования областей достижимости (ОД) ЛДМ и её частных вариантов на соответствующие оси декартовой (полярной) системы координат в пространстве состояний, либо в пространстве целевых (критериальных) функций (в пространстве выходов ЛДМ). Располагая ОД, можно, во-первых, проанализировать как зависит разрешимость задач проактивного управления СТО от структуры и свойств множества начальных состояний X_0, конечных состояний X_f ($x(T_0) \in X_0$, $x(T_f) \in X_f$) ЛДМ, описывающих функционирование СТО, от интервалов времени, на котором происходит проактивное управление, от состава и структуры пространственно-временных, технических и технологических ограничений. Во-вторых, используя области достижимости, можно осуществлять многовариантное прогнозирование

состояние СТО, что особенно важно при проактивном управлении ими. Кратко остановимся на алгоритмических особенностях решения перечисленных задач.

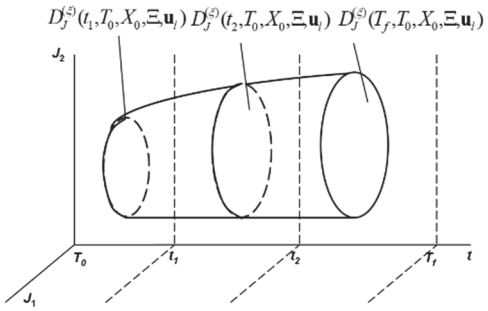


Рис. 1. Пример графического изображения области достижимости
в пространстве двух показателей качества и двух моментов времени

Предлагаемое решение исследуемой задачи. Таким образом, из вышеизложенного следует, что задачи многовариантного прогнозирования состояния СТО при их проактивном управлении могут быть сформулированы как задачи отыскания минимума заданной функции по соответствующему множеству достижимости

$$J'_{\text{об}}(\mathbf{x}(\cdot)) \to \min_{\mathbf{x}(\cdot)\in D_i(T_f,T_0,\mathbf{x}(T_0))}, \qquad (1)$$

где $D_i(T_f,T_0,\mathbf{x}(T_0))$ – множество достижимости ЛДМ M_i $(i=1,2,3)$; $J'_{\text{об}}(\mathbf{x}(\cdot))$ – преобразованный к терминальному виду (виду функционала Майера) исходный обобщенный показатель качества функционирования СТО. При этом необходимо подчеркнуть, что при изменении вида функции $J'_{\text{об}}(\mathbf{x}(\cdot))$ не требуется повторный расчёт множества достижимости $D_i(T_f,T_0,\mathbf{x}(T_0))$. В указанной ситуации следует просто заново решить задачу нелинейного программирования (1). Таким образом, предварительный расчёт и аппроксимация ОД для соответствующих ЛДМ, описывающих функционирование СТО позволяет существенно сократить затраты времени и повысить оперативность решения задач многовариантного описания (многовариантного прогнозирования) возможных сценариев поведения СТО в динамически изменяющихся условиях. Необходимо отметить, что для задач многовариантного прогнозирования состояния СТО большой размерности построение множеств (областей) достижимости представляет собой исключительно сложную проблему. Поэтому на практике при решении указанной проблемы проводят различного рода упрощения, связанные с аппроксимацией множеств $D_i(T_f,T_0,\mathbf{x}(T_0))$ [2–3]. Один из возможных методов (алгоритмов) построения $D_i(T_f,T_0,\mathbf{x}(T_0))$ основывается на многократном решении задач оптимального программного управления элементами и подсистемами СТО с функционалом вида [2]:

$$J''_{\text{об}}(\mathbf{x}(\cdot)) = \mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}(T_f) \to \min_{u\in Q_p(\mathbf{x})}, \qquad (2)$$

где $\mathbf{c}$ – заданный вектор, удовлетворяющий условиям нормировки $|\mathbf{c}| = 1$. Осуществляя поиск $\mathbf{u}^*(t)$ для каждого фиксированного $\mathbf{c}$, мы получаем точку $\mathbf{x}^*(T_f)$, лежащую на границе множества достижимости, и опорную гиперплоскость вида $\mathbf{c}^m\mathbf{x}(T_f)$ к этому множеству, проходящую через точку $\mathbf{x}^*(T_f)$. Определив $\mathbf{x}^*_{\overline{\beta}}(T_f)$ и опорные гиперплоскости для заданных вариантов варьирования компонент вектора $\mathbf{c}_{\overline{\beta}}$, $\overline{\beta}=1,...,\overline{\overline{\Delta}}$ ($\overline{\overline{\Delta}}$ – число вариантов варьирования), можно получить как внешнюю ($D(+)$), так и внутреннюю ($D(-)$) аппроксимацию множества достижимости $D_i(T_f,T_0,\mathbf{x}(T_0))$. В связи с этим в работе [2] было показано, что в общем случае для ЛДМ рассматриваемого класса внешней аппроксимацией $D^+(T_f,T_0,\mathbf{x}(T_0))$

множества $D_i(T_f, T_0, \mathbf{x}(T_0))$ будет выпуклый многогранник, образованный пересечением опорных гиперплоскостей. Внутренней аппроксимацией $D^-(T_f, T_0, \mathbf{x}(T_0))$ множества $D_i(T_f, T_0, \mathbf{x}(T_0))$ может служить выпуклый многогранник, вершинами которого являются точки $\mathbf{x}^*_\beta(T_f)$, т. е. $D^-(T_f, T_0, \mathbf{x}(T_0)) = Co(\mathbf{x}_1(T_f), ..., \mathbf{x}_{\overline{\overline{\Delta}}}(T_f))$. Чем больше $\overline{\overline{\Delta}}$, тем лучше *D*+ и *D*– приближают множество достижимости. В докладе приведены результаты обзора литературы по вопросам визуализации процессов построения и использования ОД при многовариантном прогнозировании состояния СТО. Проведённый обзор показал, что исследуемые задачи компьютерной визуализации многомерных объектов теоретически могут быть решены с помощью следующих расширений геометрии: проективная геометрия, геометрическая алгебра, геометрия Клиффорда, геометрическое программирование. Построенное на этих принципах программное обеспечение представляет собой библиотеки и фреймворки к существующим популярным языкам программирования и предназначено для высокоэффективного моделирования компьютерной графики при отображении на плоский экран монитора, проектора, дисплея и пр. Однако ряд из этих продуктов позволяют работать с объектами в пространстве до 12 и выше измерений, что позволяет надеяться использовать их для решения поставленных выше задач. В докладе предложены возможные направления совершенствования существующих программных средств визуализации многомерных объектов [4].

Заключение. В докладе показано, что при проактивном управлении СТО особое значимость приобретают задачи многовариантного прогнозирования их состояния. Предлагается модельного алгоритмическое обеспечение и прототипы программных модулей решающих данные задачи. В настоящее время практическую реализацию разработанные модели, методы и алгоритмы получили при решении задач проактивного управления группировкой малоразмерных космических аппаратов [4, 5].

Работа проводилась при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№№ 17-29-07073-офи-м, 18-07-01272, 18-08-01505, 19-08-00989, 19-38-90221, 20-08-01046), в рамках бюджетной темы №№0073-2019-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Юсупов Р.М., Соколов Б.В., Охтилев М.Ю.** Теоретические и технологические основы концепции проактивного мониторинга и управления сложными объектами // Известия Южного Федерального университета. Технические науки. 2015. №1(162). С. 162–174.
2. **Черноусько Ф.Л.** Оценивание фазового состояния динамических систем. М.: Наука, 1988.
3. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
4. http://litsam.ru
5. **Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН, 2018. 314 с.

O.V. Kofnov, B.V. Sokolov, V.A. Ushakov, (St.Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St.Petersburg)

Multivariate Forecasting of the State of Complex Technical Objects with their Proactive Management

The report shows that during using proactive management of complex technical objects (CTO) it is very important to carry out multivariate forecasting of their state. A new approach is proposed, based, firstly, on the original logical-dynamic description of the processes under study, and, secondly, on the construction and approximation of the reachable regions (RR) of the investigated dynamic processes that describe the entire set of potential trajectories of CTO in the multidimensional space of system-technical parameters. Examples of practical implementation in the rocket and space field are given.

Н. В. ЕРМАКОВ, С. А. МОЛОДЯКОВ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

МОДЕЛЬ КЭШИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ БЫСТРОГО ДОСТУПА ФАЙЛОВ

В настоящей работе рассмотрена прикладная система хранения. Эта система эффективно хранит данные в зависимости от их особенностей. Основное внимание уделено вопросу кэширования данных на уровне прикладного сервера. Чтобы ускорить получение данных, мы предлагаем использовать двухсекционный кэш. В первой секции находятся результаты запросов к базе данных, а во второй – данные из файловой системы. Для исследований были разработаны аналитическая и имитационная модели кэширования. Приводятся графики исследования моделей в зависимости от размера кэша и других параметров.

Введение. За многие годы работы разные учреждения и предприятия накопили большие объемы информации, которые продолжают увеличиваться [1], [2]. Дополнительные возможности, которые предоставляет большое количество данных, требуют разработки новых систем хранения данных.

Файловые системы обычно обеспечивают хранение слабо структурированной и неструктурированной информации. Системы управления базами данных хранят структурированную информацию и решают множество проблем, которые затруднительно или вообще невозможно решить при использовании файловых систем [3]–[5]. Файловая система лучше подходит для хранения большого количества неструктурированных данных, чем база данных [6]. Поэтому, если необходимо хранить и структурированные и неструктурированные данные, файловая система используется вместе с SQL, NoSQL базой данных или поисковым движком. У поисковых движков меньше время поиска, но больше время вставки по сравнению с другими базами данных, например, с MongoDB [7].

Одним из методов повышения производительности системы хранения данных является кэширование. Аналитическое и имитационное моделирование системы кэширование применяется для оценки эффективности в зависимости от различных параметров. При аналитическом моделировании могут применяться модели на основе цепей Маркова [8]–[10]. Для имитационного моделирования различных протоколов когерентности кэшей (MSI, MESI и других) применяются модели на основе диаграмм состояний [11], [12].

Прикладная система хранения данных была разработана для компании EPAM. Она предназначена для хранения информации о фармацевтических исследованиях. Система состоит из файловой системы, базы данных, поискового движка и прикладной программы, размещенной на сервере. Вся необходимая информация классифицируется и распределяется. Неструктурированные данные хранятся в файловой системе, структурированные – в базе данных, не меняющиеся – в поисковом движке. Результаты часто используемых запросов к базе данных кэшируются.

Предлагаемый доклад посвящен исследованию возможностей повышения производительности системы хранения данных за счет более эффективного использования кэширования. Для исследований были разработаны аналитическая и имитационная модели двухсекционного кэша. В этот кэш помещаются результаты запросов к базе данных и файлы из файловой системы.

Аналитическая модель кэширования. На рис. 1 приведена схема кэширования в системе хранения данных. Клиенты запрашивают у сервера приложений файлы по некоторому заданному условию. Сервер приложений запрашивает список файлов, удовлетворяющих этому условию, из базы данных. Результаты запроса помещаются в сегмент кэша S1. Затем сервер приложений запрашивает требуемые файлы из файловой системы. Запрошенные файлы помещаются в сегмент кэша S2. Запрошенные данные также могут помещаться в кэши клиентов L1. Если данные могут потребоваться нескольким клиентам, то они могут быть помещены в кэши проски-серверов L2.

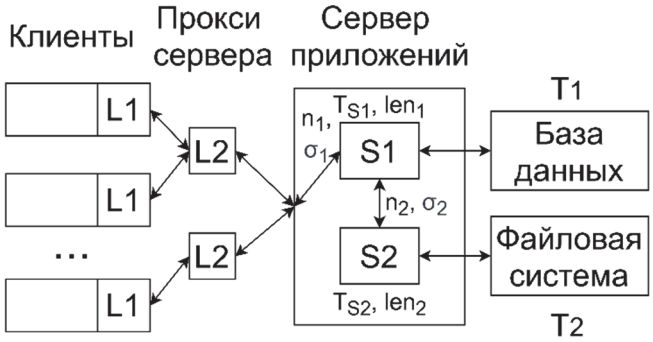


Рис. 1. Схема кэширования в системе хранения данных

T_{S1} и T_{S2} – среднее время чтения из сегментов кэша S1 и S2. T_1 и T_2 – среднее время чтения из базы данных и файловой системы. len_1 и len_2 – это размеры сегментов кэша S1 и S2. n_1 – количество запросов в базу, n_2 – количество запрошенных файлов. В реальных системах хранения данных одни данные всегда запрашиваются чаще других. Предположим, что «номера» запросов к базе данных и «номера» запрошенных файлов от пользователей распределены по нормальному закону. σ_1 и σ_2 – среднеквадратичное отклонение «номеров» запросов к базе данных и файлам. «Номера», которые находятся рядом с математическим ожиданием, запрашиваются чаще.

Предположим, что в кэше всегда хранятся наиболее часто запрашиваемые данные с «номерами» от $\mu - len/2$ до $\mu + len/2$, где: len – размер кэша, μ – математическое ожидание, σ – среднеквадратичное отклонение. Тогда выражение (1) – это вероятность попадания в кэш.

$$p_{hit} = F\left(\mu + \frac{len}{2}\right) - F\left(\mu - \frac{len}{2}\right) = \text{erf}\left(\frac{len}{2\sqrt{2}\sigma}\right) \quad (1)$$

Выражение (2) – это общее время работы системы.

$$T_{total} = n_1(p_{hit1}T_{S1} + (1 - p_{hit1})T_1) + n_2(p_{hit2}T_{S2} + (1 - p_{hit2})T_2) \quad (2)$$

Выражение (3) – это общее время работы системы при отсутствии кэширования.

$$T_{without\ cache} = n_1T_1 + n_2T_2 \quad (3)$$

Выражение (4) – это выгода от использования кэширования. Выгода зависит от отношения запросов в базу и к файлам $n1/n2$, отношения длины кэша и среднеквадратичного отклонения len/σ для каждого сегмента, времени чтения из базы T_1, файловой системы T_2 и сегментов кэша T_{S1} и T_{S2}.

$$gain = \frac{T_{without\ cache}}{T_{total}} = \frac{\frac{n_1}{n_2}T_1 + T_2}{\frac{n_1}{n_2}\left(\text{erf}\left(\frac{len_1}{2\sqrt{2}\sigma_1}\right)T_{S1} + \left(1 - \text{erf}\left(\frac{len_1}{2\sqrt{2}\sigma_1}\right)\right)T_1\right) + \left(\text{erf}\left(\frac{len_2}{2\sqrt{2}\sigma_2}\right)T_{S2} + \left(1 - \text{erf}\left(\frac{len_2}{2\sqrt{2}\sigma_2}\right)\right)T_2\right)} \quad (4)$$

Иммитационная модель кэширования. На рис. 2 приведена функциональная схема разработанной модели кэширования, созданной в среде MATLAB/Simulink. Модель состоит из двух генераторов чисел с нормальным распределением, двух моделей кэша, и части, подсчитывающей выгоду от кэширования. В модели можно задать среднеквадратичное отклонение генераторов, размер сегментов кэша, среднее время чтение при попадании в кэш и промахе. Считаем, что среднее время чтения при попадании в первый сегмент кэша равно 1. Для подсчета выгоды среднее время без кэширования $T_1 + n_2/n_1 * T_2$ умножается на текущее время и делится на общее время с кэшированием.

Входные параметры моделей кэшей – это последовательность номеров (вход Source) и размер кэша (рис. 3). Блок «Cache model» хранит кэшированные номера со входа «Source». Выход «result» блока «Cache model» равен 1, если в кэше есть номер со входа «get», и 0, если нет. В модели реализована политика вытеснения LRU (least recently used). Блок «Priority queue» хранит время последнего запроса номера. С задержкой в один такт запрошенный номер добавляется в «Cache model» и «Priority queue». Если вход «Pop» = true, то на выходе «Out» будет номер с минимальным временем. Неиспользованный дольше всех номер вытесняется из

очереди и кэша, если до этого был кэш промах (result = 0) и размер кэша равен максимальному. Два счетчика считают количество кэш попаданий и промахов.

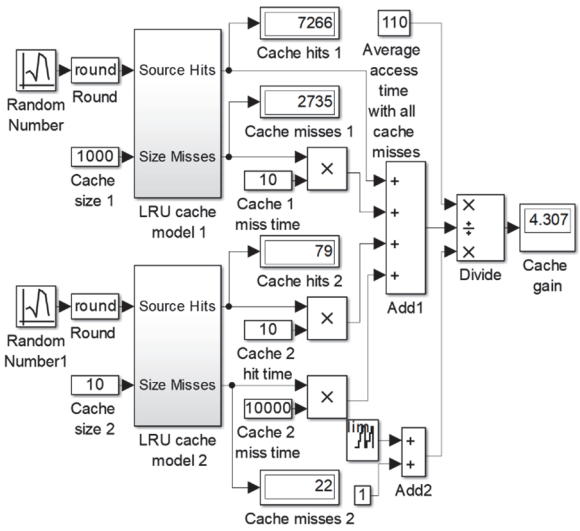


Рис. 2. Модель кэширования в среде MATLAB/Simulink

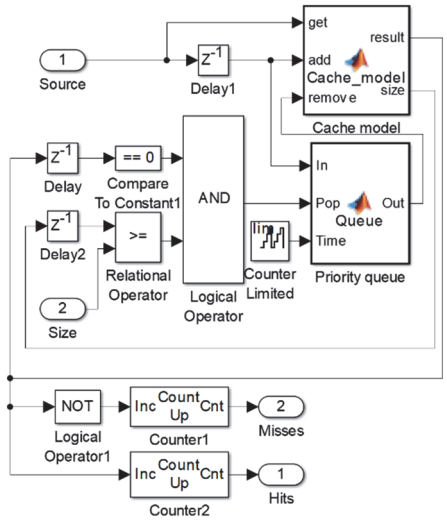


Рис. 3. Блок «LRU cache model»

Результаты. Пусть средний размер файла – 1 Гб, средний размер ответа из базы – 100 байт, размер сегмента кэша для базы данных – 100 КБ, для файлов – 10 Гб. В среднем в кэш помещается $len_1 = 1000$ запросов к базе и $len_2 = 10$ файлов. Количество запросов к базе равно $n_1 = 10000$, а к файлам – $n_2 = 100$. Среднеквадратичное отклонение запросов к базе равно $\sigma_1 = 100\sqrt{10}$, к файлам – $\sigma_2 = \sqrt{10}$. Вызывается около 1000-2000 различных запросов к базе данных и 10–20 файлов, т. к. 99.7 % запросов попадают в промежуток от -3σ до +3σ. Среднее время скорости чтения запроса из кэша базы данных равно $T_{S1} = 1$, из базы – $T_{S2} = 10$, из кэша файлов – $T_1 = 10$, из файловой системы – $T_2 = 10000$. Исследуем зависимость выгоды от использования кэша в зависимости от одного параметрах при остальных фиксированных параметрах и сравним с выгодой по (4).

На рис. 4 приведена зависимость выгоды от размера второго сегмента кэша len_2. При $len_2 \geq 14$ выгода перестает увеличиваться и равна 6.3. Это связано с тем, что кэш изначально пустой. Поэтому вначале всегда будут кэш промахи, даже размер кэша больше всех различных запрашиваемых данные. Также политика вытеснения LRU хуже идеальной политика вытеснения в формуле. Мы ожидаем, что выгода, рассчитанная по формуле, всегда будет больше, чем выгода, полученная при моделировании.

На рис. 5 приведена зависимость выгоды от времени доступа к базе T_2, когда происходит кэш промах во втором сегменте. Чем больше время, тем больше выгода.

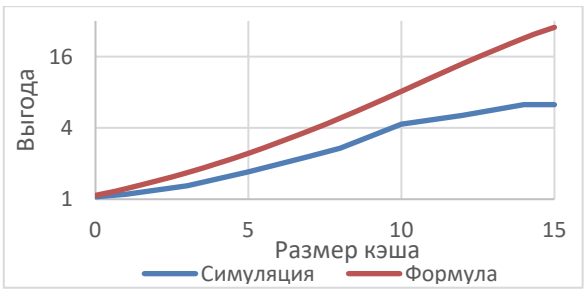


Рис. 4. Зависимость выгоды от размера кэша S2

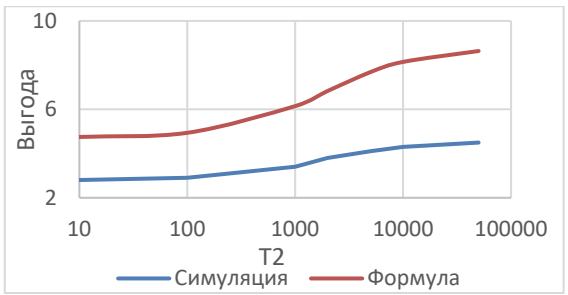


Рис. 5. Зависимость выгоды от времени доступа T2

Заключение. В этой статье рассмотрены аналитическая и имитационная модели двухсекционного кэша. Этот кэш может применяться для систем хранения данных, состоящей из нескольких компонентов, например, из базы данных и файловой системы. В аналитической модели рассмотрен идеальный случай, и поэтому она показывает лучшие результаты. Разработанные модели могут быть использованы для определения оптимальных размеров кэша

в системе хранения данных в зависимости от распределения запросов к системе. Кэширование может существенно ускорить получение данных, которые часто запрашиваются и редко изменяются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Laboshin L.U., Lukashin A.A., Zaborovsky V.S. The Big Data approach to collecting and analyzing traffic data in large scale networks. In: Procedia Computer Science, 2017. Vol. 103, P. 536–542. doi: 10.1016/j.procs.2017.01.048
2. Voinov N., Garzon K. R., Nikiforov I., Drobintsev P. Big Data processing system for analysis of GitHub events. In: 2019 XXII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2019. P. 187–190. doi: 10.1109/SCM.2019.8903782
3. Coronel C., Morris S. Database systems: design, implementation, and management. Boston, USA: Cengage Learning, 2019.
4. Ramakrishnan R., Gehrke J. Database management systems. McGraw Hill, 2003.
5. Connolly T., Begg C. Database systems: practical approach to design, implementation, and management. Harlow: Pearson Education Limited, 2015.
6. Sears R., Van Ingen C., Gray J. To blob or not to blob: Large object storage in a database or a filesystem? Microsoft Technical Report, 2007.
7. Abubakar Y., Adeyi T. S., Auta I. G. Performance evaluation of NoSQL systems using YCSB in a resource austere environment. In: International Journal of Applied Information Systems, 2014. Vol. 7, P. 23–27. doi:10.5120/ijais14-451229
8. Ben-Ammar H., Hadjadj-Aoul Y., Rubino G., Ait-Chellouche S. On the performance analysis of distributed caching systems using a customizable Markov chain model. In: Journal of Network and Computer Applications, 2019. Vol. 130, P. 39–51. doi: 10.1016/j.jnca.2019.01.011
9. Chen C., Beltrame G. An adaptive Markov model for the timing analysis of probabilistic caches. In: ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems (TODAES), 2017. Vol. 23, P. 1–24. doi: 10.1145/3123877
10. Ammar H.B., Chellouche S.A., Aoul Y.H. A Markov chain-based Approximation of CCN caching Systems. In: 2017 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2017. P. 327–332. doi: 10.1109/ISCC.2017.8024551
11. Kehagias D., Raptis I. An Android-based MESI cache coherence simulator. In: The 5th International Virtual Conference on Advanced Scientific Results, 2017, P. 194–199. doi: 10.18638/scieconf.2017.5.1.422
12. Sensfelder N., Brunel J., Pagetti C. Modeling cache coherence to expose interference. ECRTS, 2019. doi: 10.4230/LIPIcs.ECRTS.2019.18

N.V. Ermakov, S.A. Molodyakov, (Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg)

A Caching Model for a Quick File Access System

In this paper, we consider the developed storage system. This system effectively stores data depending on their features. The main attention is paid to the issue of data caching at the application server level. To speed up data retrieval, we suggest using a two-section cache. The first section contains the results of queries to the database, and the second contains data from the file system. Analytical and simulation caching models have been developed for research. The graphs of model research depending on the cache size and other parameters are provided.

Я. А. ИВАКИН, С. Н. ПОТАПЫЧЕВ
СПИИРАН, АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР», Санкт-Петербург

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БАЗЕ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕКИНГА И ЕЁ ОПТИМИЗАЦИЯ

Информационная технология геохронологического трекинга это совокупность процессов накопления и интеграции данных о географическом перемещении сущностей за установленный период времени с представлением результатов в виде обобщающего графа в ГИС. Гипотезы об устойчивых тенденциях в миграции представимы как подграфы указанного графа. Проверка таких гипотез сведется к поиску и оценке статистической значимости изоморфизма соответствующих графов. Полнофункциональное развитие компьютерной интерпретации методов теории графов на базе геохронологического трекинга способно обеспечить новое качество ретроспективных исследований с использованием современного ГИС-инструментария. Оно выражается в предоставлении возможности исследователю использовать количественные методы соответствующего логико-аналитического аппарата в своей предметной области. Рассмотрению качественно новых возможностей такого подхода и рационализации соответствующего алгоритмического аппарат посвящен этот доклад.

Процесс геохронологического трекинга представляет собой совокупность способов сбора первичной ретроспективной, хронологической информации и последовательности приемов обобщения геохронологических треков некоторых исследуемых сущностей (объектов, артефактов или их совокупностей) на электронной карте в геоинформационной системе (ГИС). Геохронологический трекинг, как эффективная информационная технология работы с цифровыми картографическими наборами пространственных данных, нашла широкое применение в ретроспективных исследованиях закономерностей в перемещении тех или иных артефактов за установленный период времени. Программные средства геохронотрекинга становятся одним из наиболее популярных пользовательских приложений в интегрируемых в состав геоинформационных систем пакетов прикладных программ. Соответственно геохронологический трек есть интеграция хронологических и географических данных в виде графа, соединяющего географические точки нахождения указанных исторических сущностей (Вершины трека имеют строгое историко-географическое определение, дуги носят характер условно-логической связи). В статьях [1, 2] дано комплексное описание узкоспециализированой программной технологии геохронологического трекинга, а в работе [3] показаны возможности применения аналитического аппарата теории графов и статистических исследований на базе геохронологического трекинга.

Выполнение разработки апробационных примеров построения геохронологических треков по данным из [4, 5] для различных групп исторических личностей позволило прейти к выводу, что финишная версия графа для достаточно представительной выборки исторических сущностей (личностей, объектов и пр.), как правило, имеет высокосложную и полно- / высоко- связную структуру. Такая структура может быть строго упорядочена. Именно на основе такого итогового графа геохронологического трекинга становится возможным исследование различных миграционных процессов, выявления некоторых частных исторических закономерностей в перемещении социальных групп, статистически подтвержденная проверка исследовательских гипотез о характере миграций. Существо, концептуальная модель и методологический аппарат таких исследований детально описаны в статье [6].

Концептуальная идея проверки исследовательских гипотез заключается в следующем: итоговый граф геохронотрекинга представляется как граф-базис в структуре которого выявляется подграф изоморфный заданному, т.е. устанавливается наличие взаимно однозначного отображения одного графа на подграф другого, при котором сохраняется отношение инцидентности [7]. Граф, на изоморфность к которому в составе базового графа геохронологического трекинга определяется подграф, топологически описывает ту или иную определенную гипотезу исследования об устойчивой особенности в перемещениях исторических личностей, объектов или других сущностей в географическом пространстве. Далее определяется степень устойчивости в

признании гипотезы исследования о выявляемой особенности в перемещениях с использованием статистического аппарата доверительной вероятности и доверительных интервалов.

Программно-алгоритмическая реализация проверки исследовательских гипотез на базе геохронологического трекинга представляет собой сложную и итеративную вычислительную процедуру. Её практическое воплощение может иметь экспоненциальную сложность и приводить к трансвычислительному характеру решения задачи при определенных входных данных и граничных условиях. Именно этот факт диктует необходимость обоснования и разработки рационального или оптимального алгоритма проверки исследовательских гипотез на базе геохронологического трекинга, т. е. такой локализации вычислительного алгоритма решения задачи определения всех изоморфных вложений в граф геохронотрека, которая позволяет за конечное число подстановок (итераций) определить все комбинации вложений изоморфных заданному графу-гипотезе и не сделать решение трансвычислительным.

Вместе с тем, особенности алгоритмизации указанной процедуры геохронотрегинга во многом определяют результативность и точность её применения в процессе прикладных исследований на базе ГИС. Очевидно, что высокая вычислительная и временная сложность базового алгоритма определения изоморфного вложения в граф предъявляет высокие требования именно к корректной программной реализации указанной процедуры при её практическом внедрении. Этот факт определил необходимость задания соответствующей оптимизационной задачи, установления граничных условий её решения и алгоритмизации поиска соответствующих экстремумов. Постановка такой оптимизационной задачи должна учитывать ограничения, налагаемые реальными условиями объекта исследования – предметной областью ретроспективного исследования, примером формализованного описания которых могут служить [8, 9].

Указанная оптимизация позволяет обеспечить возможность вариабельности в применении наилучшим образом алгоритма проверки гипотез ретроспективных исследований на основе геохронологического трекинга для различных комбинаций входных данных и требований к точности, ресурсоемкости и быстроте алгоритма получения выходных данных. Такая оптимизация способствует широкому внедрению и автоматизации геохронотрекинга, как прикладного метода научных исследований. Рассмотрение математических и системологических сторон представленной оптимизации описанного алгоритма статистической проверки гипотез ретроспективного исследования на основе геохронологического трекинга в ГИС и есть предмет проведенного частного исследования. В рамках такого представления определены основные параметры и условия оптимальности рассматриваемого алгоритма, а также учтены результаты последних разработок по тематике геохронологического трекинга, например, таких как [10, 11].

Синтез указанного обобщенного алгоритма поиска в граф-базисе подграфа-вложения изоморфного заданному, применительно к специфике входных данных и граничных условий задачи проверки исследовательских гипотез на базе геохронологического трекинга в ГИС, а также обоснование путей его оптимизации есть предмет рассмотрения данного доклада.

Оптимизация алгоритма реализации проверки гипотез ретроспективных исследований на основе геохронологического трекинга позволяет добиться роста результативности и точности её применения в процессе прикладного анализа на базе ГИС эффективности различных поставочных сетей, планирования коммуникаций, систем логистико-пространственной организации инфраструктуры различного назначения и пр. Также очевидна перспективность дальнейших усилий по развитию методологических средств и прикладной алгоритмики геохронологического трекинга, к которым можно отнести внедрение и интеграцию соответствующих информационных технологий искусственной интеллектуальности (технологии экспертных систем, систем нечеткой логики, технологий интеллектуального анализа данных Data Mining и другие) в соответствующие ГИС-приложения. Указанная перспективность дает основание прогнозировать дальнейшее расширение области применения аппарата геохронологического трекинга в программных инструментах поддержки управленческих решений базирующихся на анализе накопленных фактов применения соответствующих объектов (артефактов).

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 19-07-00006

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ивакин Я.А**. Информационная технология геохронологического трекинга для проверки гипотез ретроспективных исследований использования водного транспорта / Я.А. Ивакин, С.В. Потапычев //Вестник Государствен-

ного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2018. Т. 10. № 2. С. 452–461. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-452-461.
2. **Потапычев С.Н**. Геохронологический трекинг – специализированный ГИС-инструментарий исторического исследования [Текст] // Ивакин Я.А., Потапычев С.Н. // Журнал «Историческая информатика. Информационные технологии и математические методы в исторических исследованиях и образовании», 2016; № 1–2, с. 3–11.
3. **Нечепуренко М.И., Попков В.К., Майнагашев С.М., Кауль С.Б., Проскуряков В.А., Кохов В.А., Грызунов А.Б**. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 515 с.
4. РГВИА – фонд Ф.400 Главного штаба Военного министерства.
5. РГВИА – фонд Ф.409 "Послужные списки, аттестации и наградные листы офицеров русской армии".
6. **Ивакин Я.А., Потапычев С.Н., Ивакин В.Я**. Проверка гипотез исторического исследования на базе геохронологического трекинга // Историческая информатика. 2018. № 2. С.96–102. DOI: 10.7256/2585-7797.0.0.25344. URL: http://e-notabene.ru/istinf/article_25344.html
7. **Зыков А.А**. Основы теории графов. М: Вузовская книга, 2004. 664 с.
8. **Коваленко В.В**. Состояние и мировые тенденции развития систем подводного наблюдения. // Морские информационно-управляющие системы. М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат» – 2016. №2(10), с.18–33.
9. **Коваленко В.В**. Океанологическое обеспечение распределенных систем подводного наблюдения// Морские информационно-управляющие системы. М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат» – 2016. №2(10), с.68-79.
10. **Deepak A., Tobias F.** Average-Case Analysis of Incremental Topological Ordering // Discrete Applied Mathematics. 2016. vol. 158. no. 4. pp. 240–250.
11. **Ammar A.B**. Query optimization techniques in graph Databases // International Journal of Database Management Systems (IJDMS). 2016. vol. 8. no. 4. 14 p.

Y.A. Ivakin (SPIIRAS, JSC “Concern “OCEANPRIBOR”, St. Petersburg),
S.N. Potapichev (SPIIRAS, JSC “Concern “OCEANPRIBOR”, St. Petersburg)

Refinement Algorithm of Hypotheses Testing Research Based on Geochronological Tracking

Geochronological tracking is an effective information technology for digital cartographic spatial data sets processing. It is widely known in retrospective patterns research about geographic relocation of figures, or any other units for a given time interval. Software component of geochronological tracking is becoming one the most popular GIS-integrated application. Hypotheses on the stable tendencies in migration and traffic control could be represented as the GIS-based refinement procedure. Dispatching for geospatial processes of transport with implementation of geochronological tracking tools is tightly related with completion of more developed model of data processing in the automated vessel traffic control system. The mathematic and algorithmic apparatus defines the effectiveness of its application. This requires a specific refinement task and searching for corresponding extremums. The refinement allows to provide thorough implementation and automation of geochronological tracking as an applied scientific method for traffic control. The report is dedicated to the thorough consideration of this feature.

В. В. ЦЕХАНОВСКИЙ, В. Д. ЧЕРТОВСКОЙ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

ОПТИМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Отмечено, что оптимизация управления производствами является эффективным способом как при автоматизации производств, так и при применении режима оперативного перехода на выпуск новой продукции. Совместное рассмотрение вариантов с позиций системного анализа позволило сформировать методологию структурно-алгоритмического моделирования, на основе которого был предложен однородный математический метод. Представлены интересные результаты для технико-экономических процедур с агрегированным рассмотрением оперативных процедур. Одновременно получены результаты н для оперативных процедур (при детальном представлении) вместе с теорией описания. Отмечено, что более полного использования оптимизации необходимо совместное описание указанных предметных областей. Предлагаемое решение построено на базе киберфизических систем, методологии структурно-алгоритмического моделирования и однородного метода описания. Иллюстрация проведена на двухблочной модели системы. Сформулированы особенности оперативных процедур с позиций интегрального описания, представлено совместное описание предметных областей.

Введение. Интерес к оптимальным производственным системам появился достаточно давно [1, 2]. Совместное изучение вариантов рассмотрено в работе [3]. Системы строились на основе системного анализа: структуризация модели системы, построение технологии математического описания и программной реализации. Предложена методология структурно-алгоритмического моделирования [2], которая дала возможность сформировать однородный метод математического описания системы, базирующийся на динамическом линейном программировании [2, 3].

Такой подход является одним из эффективных способов решения проблемы цифровизации экономики, позволяющего получить экономическую выгоду и конкурентные преимущества. Получены значительные результаты [2] для технико-экономических процедур с агрегированным рассмотрением оперативных процедур. С другой стороны, сформулированы результаты [4] н для оперативных процедур (при детальном представлении) совместно с теорией описания.

Постановка задачи. Раздельное планирование процедур не позволяет в полной мере использовать преимущества оптимизации и потому настоятельно требуется интеграция этих описаний процедур.

Оценке возможностей системного математического описания и исследования названных процедур посвящена настоящая работа. Системное построение процедур укладывается в современную концепцию информационных распределенных систем [5], получивших название киберфизических (КФС).

Решение задачи. В данном случае КФС является концепцией «сборки» блочной системы, показанной на рисунке. В качестве методологии для локальных систем предложено использовать структурно-алгоритмическое моделирование, а в качестве метода – однородный метод.

Методология предполагает определение цели исследования, выявление структуры системы и ее математическое описание, использование модели.

Целью исследования является изучение киберизической системы (КФС). Структура такой системы состоит из двух основных блоков (блоки 1 и 2). Необходима интеграция блоков.

Системное описание блока 1 выполнено с использованием однородного метода и детально рассмотрено в работе [2].

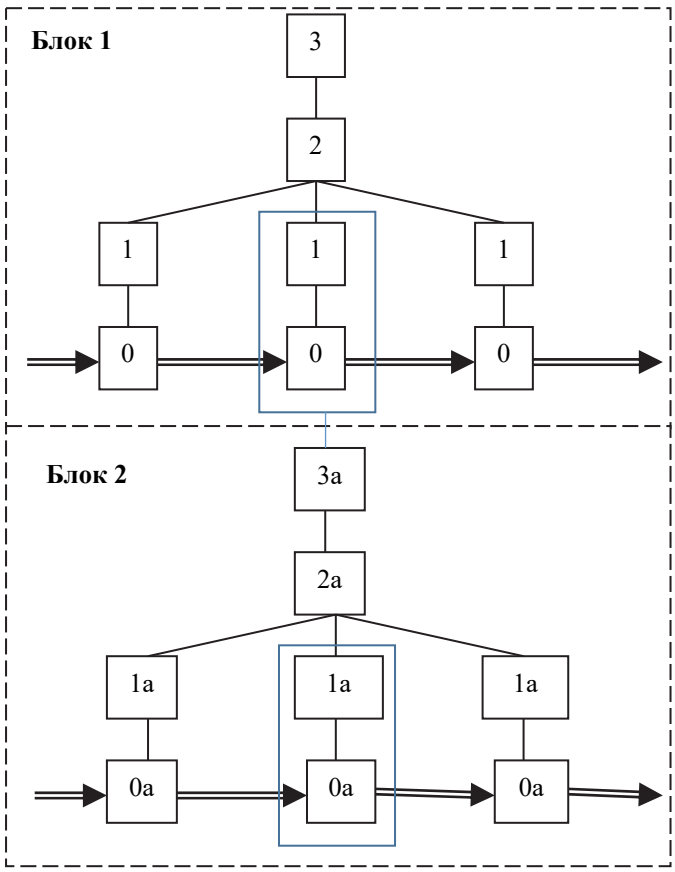


Рисунок. Общая структура системы: 0 – цехи; 1 – начальники цехов; 2 – диспетчер; 3 – руководство; 0а участки; 1а – начальник участка; 2а – цепочки участков; 3а – начальник цеха

Для блока 2 использован аппарат теории расписаний [6, 7]. Чтобы показать применимость однородного метода, обсудим специфику блока 2. Необходимо выделить синтез (проектирование) и функционирование системы. При функционировании необходимо согласование трех составляющих [6]: упорядочение, распределение и согласование.

Составляющая распределение определяет расположение обрабатываемой продукции по элементам оборудования. Она характерна только для обработки на уровне участков.

Согласование предполагает совместную работу отдельных участков и применяется как при обработке, так и при сборке.

Составляющие должны быть интегрированы. Посмотрим характеристики отдельных составляющих с позиций системности.

Составляющая «упорядочение» суть выстраивание продукции в очередь для обработки.

Составляющая «распределение» подробно представлена в работах [6, 7].

Достаточно общее описание распределения для процедуры обработки имеет следующий вид [4]. Максимизируемый функционал для такой модели (элемент 1б рисунка) определяет наибольшую прибыль от обработки выбранных деталей:

$$J = \alpha_1 \sum_{i=1}^{L} c_i x_i - \alpha_2 \sum_{i=1}^{L} \sum_{j-1}^{m} d_{ij} \hat{} t_{ij} , \quad (1)$$

где x_i (i = 1, L) – переменные, α_1 и α_2 – весовые коэффициенты, d_{ij} – стоимость подготовки и установки одного комплекта технологической оснастки и инструмента для обработки деталей i-го типа на j-м оборудовании.

Балансовые ограничения по времени имеют вид:

$$\sum_{i=1}^{L} x_i \left(t_{ij} + z_{ij} r_{ij}\right) + \hat{} t_j \leq y_j T, \; j = 1, 2, \quad (2)$$

где t_{ij} – время обработки i-й детали на j-м станке, $\hat{} t_j$ – вспомогательные параметры простоев, r_{ij} – время переналадки j-го оборудования на обработку деталей i-го типа, z_{ij} – количество оборудования j-го типа, которое будет использовано для обработки деталей i-го типа, y_j – количе-

ство единиц j-го оборудования, которое входит в состав производственного участка, T – интервал времени. Величины z_{ij} и y_j задаются.

Отметим, что в составляющей «согласование» в процессе обработки можно использовать [2] задачу линейного программирования. Для процесса сборки пригоден более сложный и точный вариант с использованием аппарата сетей Петри.

В публикации-обзоре [7] анализируются следующие методы решения составляющей «упорядочение»: комбинаторный анализ, математическое программирование, статистическое моделирование и направленный перебор по методу ветвей и границ. Из них наиболее распространенными являются комбинаторный анализ и перебор по методу ветвей и границ. Однако перспективным считается сочетание комбинаторного метода и метода оптимизации.

Проведенное исследование позволяет заключить, что составляющая «распределение» рассмотрена для случая обработки, составляющая «согласование» фактически не обсуждается и для сборки приведена лишь словесная модель. Для составляющей «упорядочение» наиболее подходит комбинаторно-оптимизационный метод.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Muhammad Haseeb, Hafezali Iqbal Hussain, Beata Slusarczyk and Kittisak Jermsittiparsert**. Industry 4.0: A Solution towards Technology Challenges of Sustainable Business Performance // Soc. Sci. **8** 00154
2. **Чертовской В.Д.** Основы теории адаптивных автоматизированных систем управления производством // Труды Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Совещание). Москва: ИПУ, 2019, С. 2676–2679.
3. **Чертовской В.Д**. Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством. СПб: Лань, 2019. 216 с.
4. **Хоботов Е.Н.** Использование оптимизационно-имитационного подхода для решения задач планирования и выбора маршрутов обработки. // Автоматика и телемеханика, 1996, выпуск 1, 121–128, выпуск 2, 147–155.
5. **Фрадков А.Л.** Кибернетическая физика: принципы и примеры. Санкт-Петербург: Наука, 2003. 208 с.
6. **Павлов К.С., Хоботов Е.Н.** Модели выбора и замены оборудования в производственных системах машиностроительных предприятий. // Автоматика и телемеханика, 2015, № 12. С. 105-143.
7. **Левин В.И., Мирецкий И.Ю**. Оптимальное планирование работ в конвейерных системах. // Автоматика и телемеханика, 1996, выпуск 6, с. 3–30; выпуск 2, с. 129–136.

V.D. Chertovskoy, V.V. Tsehanovsky (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg)

Optimal Model of Manufacturing Control System

It is noted that the optimization of manufacturing control is an effective way both in the automation of production and in the application of the regime of an operational transition to the release of new products. Joint consideration of the options from the standpoint of system analysis made it possible to form a methodology of structural-algorithmic modeling, on the basis of which a homogeneous mathematical method was proposed. Interesting results are presented for technical-economic procedures with an aggregate consideration of operational procedures.

At the same time, results were obtained for operative procedures (with detailed presentation) together with the theory of description. It is noted that a more complete use of optimization requires a joint description of the specified subject areas. The proposed solution is built on the basis of cyber-physical systems, methodology of structural-algorithmic modeling and a homogeneous method of description. The illustration is carried out on a two-block model of the system. The features of operative procedures are formulated from the standpoint of an integral description, a joint description of subject areas is presented.

Н. Ю. ЛУКЬЯНОВА, Л. М. ЛУКЬЯНОВА
Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград

Л. Н. ФЕДОРЧЕНКО
С.-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург

МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА ОБЪЕКТИВИЗАЦИИ ЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЕ

Обсуждается большой вес в системном анализе (СА) субъективных факторов и моделей, использование которых снижает степень системности (полноты, непротиворечивости, согласованности) планировочных и управленческих решений, вырабатываемых в ходе его осуществления. Обосновывается актуальность разработки методической основы объективизации логической составляющей СА, базирующейся на системно-целевом и семиотическом подходах и семиотических моделях целей, структур целей, рассуждений о целях. Ставятся задачи ее разработки, приводятся схемы и примеры решения задач.

Введение. Со времени первых публикаций о системном анализе ([1], [2]) прошло более полувека. С тех пор данная методология используется при подготовке и принятии планировочных и управленческих решений в проблемных ситуациях. Назначение ключевого метода СА – выработка экспертным коллективом (ЭК) дерева целей (ДЦ). Цели являются логическим основанием для синтеза системы [3], и их структурная увязанность способствует обоснованию решений по системе целедостижения (СЦД). Способствует, но не обеспечивает вследствие субъективности моделей целей и ДЦ и методов анализа целей ДЦ и СЦД, которыми руководствуются члены ЭК и лица, принимающие решения (ЛПР). В теоретическом плане указанная субъективность в определенной мере обусловлена многозначностью понятий «проблема» и «цель», неопределенностью правил анализа проблем/целей и свойств ДЦ, а в практическом – неопределенностью формулировок проблем/целей, профессиональной и психической разнородностью ЭК и ЛПР. Это и многое другое часто приводит к некорректности ДЦ, выявляемой при исполнении решений по целедостижению (ЦД). Первая методика системного анализа (60-е годы), реализованная в системе PATTERN (*Planning Assistance Through Technical Evaluation from Relevance Number*) [4], способствовала снижению уровня некорректности ДЦ. Для правильного его построения ЭК предписывалась разработка нормативного прогноза (сценарий развития объекта анализа) и прогноза развития науки и техники с последующим оцениванием важности, взаимной полезности целей и состояний-сроков ЦД. Далее предписывалась обработка оценок на ЭВМ с уточнением ДЦ экспертами. К сожалению, в этой и большинстве других методик СА (их обзор имеется в [5]) и средствах, используемых для повышения качества ДЦ (в их числе [6–13]), отсутствуют фильтры субъективной некорректности решений по целям и СЦД [14]. В [15] предложены, а в [16–20] уточнены системно-целевой и семиотический подходы и средства формализации логического компонента системного анализа в производственной сфере, обеспечивающие решение отмеченных проблем. Доклад посвящен результатам разработки соответствующей методической основы, предназначенной для практического использования ЭК и ЛПР.

Методическая основа объективизации логической составляющей системного анализа. При системно-целевом подходе к выработке решений выделены два основных этапа [21]:

1) анализ целей с формированием структуры целей (СЦ);

2) анализ функций, компонентов и структур СЦД, согласованных с СЦ.

Принимая во внимание то, что (субъективные по своей природе) цели производственной сферы формулируются обычно путем «отрицания» (объективных) проблем, для начальной объективизации целей в обобщенной схеме СА их анализ предварен этапом анализа проблем:

Анализ проблем и формирование структуры проблем (СП)⟶
⟶анализ целей и формирование СЦ ⟶анализ СЦД.

В [21] приведена концептуальная модель формирования СЦ, реализуемая на основе субъективных моделей ЭК и следующих объективных моделей: общепринятых математических моделей принятия решений [5] и оригинальных семиотических моделей целей, дерева целей и рассуждений о целях [15, 16].

Приведем формулировки и схемы решения трех базовых логических задач СА.

Задача анализа проблем. Дано: проблемная ситуация в секторе производственной сферы. Требуется: сформировать соответствующую ей корректную структуру проблем (СП).

Для решения задачи предложена следующая схема:

изучение проблемной ситуации, выявление и предварительный анализ проблем →
→формирование каталога проблем и определение каузативных связей между ними→
→формирование каузативных структур проблем и определение главной проблемы →
→анализ главной проблемы и формирование СП.

Реализующие данную схему процедуры и средства приведены в [15, 22].

Задача анализа целей. Дано: СП. Требуется: сформировать полную, логически корректную структуру целей (СЦ) для решения проблем (и устранения тем самым проблемной ситуации).

Решение задачи осуществляется по одной из следующих схем:

1) формирование структуры целей по структуре проблем.

По данной схеме проводится переформулирование проблем из СП, сформированной на предыдущем этапе системного анализа, в цели путем «отрицания» проблем и получение СЦ, структура которой изоморфна структуре СП. Этот способ пригоден, если формулировки проблем явно выражают недостатки в соответствующем секторе производственной сферы;

2) определение главной цели → формирование структуры целей, начиная с главной цели.

Данная схема предусматривает в качестве исходной информацию лишь о главной проблеме, путем «отрицания» которой определяется главная цель;

3) выявление и предварительный анализ целей →
→формирование каталога целей и анализ их «причинно-следственных» связей→
→формирование каузативных структур целей →
→анализ каузативных структур целей и определение главной цели →
→анализ главной цели и формирование СЦ.

Использование последней детализированной схемы, аналогичной схеме формирования СП, целесообразно в случае большой неопределенности проблемных ситуаций и проблем.

Реализующие данные схемы процедуры и средства приведены в [15, 23–25].

Задача анализа СЦД. Дано: СЦ. Требуется: определить и сгруппировать функции СЦД, определить компоненты СЦД (рисунок) и (по общепринятым методикам [5]) ее оргструктуру.

Формулировка цели	Функция СЦД	Наименование и состав группы функций	Компонент СЦД

Рисунок. Шапка таблицы «Цели, функции и компоненты СЦД»

Охарактеризуем используемые при решении данных задач семиотические модели [16, 17, 21]. Двухуровневая *лингвистическая модель формулировки цели* – специфический ролевой фрейм «средства–результат», роли которого замещаются базовыми предметами или производными от них, детализированными фенотипом – функциональными свойствами (*СФ*), именными (*СИ*), характеристическими (*СХ*), физическими (*СЗ*). Модель реализована в *языке цели L* (указанные фрейм и фенотип – макрописатель и микрописатель *L*), задаваемом двухуровневой КСР-грамматикой [18], дополненной семантическими правилами межфразового и внутрифразового контекстов формулировки цели. *Логическая модель формулировки цели* – импликативная формула, формируемая *преобразователем* лингвистической модели и предназначенная для оценивания истинностных значений целей в СЦ, идентификации субъективных ошибок анализа целей и имитации логически правильного целеполагания. *Графосемантические модели* тезауруса предметной области – отношений, определенных на базовых предметах и свойствах – и СЦ. *Логико-лингвистическая модель рассуждений о целях*, осуществляющая поддержку правильного формирования СЦ, выявляющая субъективные ошибки анализа/синтеза целей и корректное их устранение ЭК.

Рассмотрим методические средства и процедуры реализации этих моделей и примеры их использования, начиная с процедуры описания цели на языке *L*:

1) выделить в формулировке цели информативную часть (суждение). Составить в соответствии с макрописателем языка *L* предложение-цель из *n* ролевых фраз (назывные предложе-

ния), $n \geq 1$. Не использовать в ролевых фразах: союзы и предлоги, перечисленные в табл. 1; местоимения, прилагательные и причастия в субъективной функции; наречия, частицы, междометия; эллиптические конструкции; аббревиатуры, кроме заданных списком. Запрещенные фрагменты формулировок целей заменить семантическими эквивалентами, составленными из разрешенных частей речи.

Таблица 1

Правила преобразования формулировки цели в предложение-цель

Естественно-языковая формулировка цели	Предложение-цель (описание цели на языке *L*)
СОЮЗЫ: *соединительные и сопоставительные* (И; И, И; А; ДА (в значении «и»); ТАКЖЕ; ТОЖЕ; КАК, ТАК И):	
– между фразами	Не включать, как выражающие отношение композиции ролевых фраз «*средство*»
– между свойствами (во фразе)	Не включать, как выражающие отношение композиции свойств в ролевой фразе
– между инфинитивами (во фразе)	При указании на стадии ЖЦ предмета добавить в ролевую фразу соответствующее имя и значение *СЗ*-свойства
целевые (между фразами): ЧТОБЫ; С ТЕМ, ЧТОБЫ; ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ и др.	Обычно указывают на ролевую фразу «конечный объект»; в случае опосредованного результата удалить данную фразу
ПРЕДЛОГИ (во фразе): ИЗ	Обычно указывает на ролевую фразу «исходный объект»
ДЛЯ	Обычно указывает на ролевую фразу «конечный объект»
НА (основе); ЗА (счет)	Обычно указывают на ролевую фразу «*средство*»

2) маркировать целевую фразу предложения-цели знаком *G,* выражающим ценность представленного в ней базового/производного предмета;

3) осуществить в соответствии с микрописателем языка *L* внутрифразовое упорядочение.

Приведем пример корректных *L*-описаний цели (**α**) «Создать механизированное оборудование и разработать технологию производства продукции из форели» и полагаемой в результате ее анализа **(**применения возможных в предметной области стратегий анализа (макроуровень: «целое–часть целевых фраз»; микроуровень: «род–вид» фраз «техника»; «род–вид» фраз «конечный объект» и «целое–часть» их базовых предметов)) непосредственно подчиненной ей в СЦ цели (**β**) «Разработать механизированное оборудование для производства консервов «“Форель в масле”»:

α – <*Переработка*:<***G3*** оборудование ***CX*** механизированное ><***4*** форель><***G5*** технология > <*7*продукция ***C3*** стадия ЖЦ. произведенная>>,

β – <*Переработка*:<***G3*** оборудование ***СФ*** консервирование ***CX*** механизированное ***C3*** стадия ЖЦ. разработка ><*4* форель><*7*консервы *СИ* “Форель в масле” *С3* стадия ЖЦ. произведенные>>.

где ***3*** (*техника*), ***4*** (*исходный объект*) и ***5*** (*технология производства*), ***7*** (*конечный объект*) – цифровые коды и имена ролей средств (***3, 4, 5***) и результата (***7***) фрейма «*Переработка*».

Соответствующие данным целям логические формулы имеют вид:

$$Gf_{\alpha 3} \wedge f_{\alpha 4} \wedge Gf_{\alpha 5} \supset f_{\alpha 7} \text{ и } Gf_{\beta 3} \wedge f_{\beta 4} \supset f_{\beta 7},$$

где $f_{\alpha i}(i=3, 4, 5, 7)$ и $f_{\beta j}(j=3, 4, 7)$ – i-е и j-е ролевые фразы предложений-целей **α** и **β**.

В табл. 2 приведен пример таблицы с двумя частными результатами решения задачи анализа СЦД.

Таблица 2

Результаты анализа функций и компонентов СЦД

Предложение-цель	Функция СЦД	Наименование группы функций	Компонент СЦД
<<*G3…СФ* консервирование><*4* форель>> <<*G3…СФ* консервирование><*4* килька>>	Консервирование форели Консервирование кильки	Консервирование	Консервный цех

Заключение. Использование изложенной в докладе методической основы объективизации логической составляющей системного анализа позволяет успешно решать поставленные задачи [22–25]. Использование разработанных в рамках ее средств частных методик системного ана-

лиза проблемных ситуаций, возникавших в последние годы в ряде секторов производственной сферы и окружающей среде, обеспечило существенное (до 10 %) снижение непроизводительных затрат на управление капиталоемкими организационно-техническими комплексами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **McKean R.N.** Efficiency in Government through Systems Analysis. With Emphasis on Water Resources Development: a RAND Corporation research study. N.Y.: John Wiley&Sons Inc., 1958. 336 p.
2. **Optner S.** Systems Analysis for Business Management. New York: Prentice Hall, Inc., I960. 190 p.
3. **Hall A.D.** A methodology for systems engineering. N.J.: D. Van Nostrand Company, Inc., 1965. 418 p.
4. **Лопухин М.М**. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ.М.:Сов.радио,1971.159 с.
5. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / Под.ред. **В.Н. Волковой, В.Н. Козлова**. М.: ВШ, 2004. 616 с.
6. **Романов В.Г., Клыков Ю.И.** Формирование дерева целей в системах ситуационного управления // Изв. АН СССР: Технич. кибернетика. 1974. № 5. С. 11–15.
7. Expert Choice for Collaborative Decision Making. URL: http://www.expertchoice.com/2020.
8. Инструментальное средство стратегического планирования ARIS BSC /Интегрированная среда ARIS. URL: http://www.idsscheer.com/interna-tional/en.
9. Программно-методический комплекс автоматизации управления в организациях «Инталев: Навигатор». URL: http://www.intalevnavigator.ru/.
10. SMARTGoalSetting. URL: http://www.goal-setting-guide.com/smart-goals.html.
11. GoalCentrix. URL: http://www (http://www. archive.org).
12. **Каплан Р.С., Нортон Д.П.** Стратегические карты. Трансформация нематериальных активов в материальные результаты. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. 512 с.
13. **Lootsma F.A., Schuijt H.** The multiplicative AHP, SMART and ELECTRE in common context // Multi-Criteria Decision Analysis. 1997. Vol. 6. No. 4. p. 185–196.
14. **Лукьянова Л.М.** Логические проблемы системного анализа организационно-технических комплексов и основные направления их решения // Кибернетика и системный анализ. 2006. №3. С. 140–147.
15. **Лукьянова Л.М.** Теоретико-методологические основы структурно-целевого анализа и синтеза организационно-технических комплексов: монография. СПб.: Наука, 2006. 280 с.
16. **Лукьянова Л.М.** Целеполагание, анализ и синтез целей в сложных системах: модели и методы моделирования // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. 2007. №5. С. 100–113; **Lukyanova L.M.** Definition, Analysis and Synthesis of Goals in Complex Systems. Simulation Models and Methods // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2007. Vol. 46, №5. p. 766–778.
17. **Федорченко Л.Н., Лукьянова Л.М.** Синтез распознавателя для КСР-языка // Вестник БГУ. Сер. Мат-ка, информатика. 2014. Вып. 9(2). С. 57–64.
18. **Лукьянова Л.М.** Автоматизация формирования системы целедостижения в организационно-технических комплексах производственной сферы // Известия КГТУ. Сер. «Экономические науки». Вып. «Экономика и управление». 2013. №30. С. 31–38.
19. **Воронин Т.А., Кунц Д.Е., Мочалов А.Г., Лукьянова Л.М.** Программное средство формирования «дерева целей» производственного комплекса // Балтийский экономический журнал. 2013. №1(10). С. 121–125.
20. **Лукьянова Л.М.** Процедурный аспект формирования системы целей организационно-технического комплекса производственной сферы // Балтийский экономический журнал». №1(11). 2014. С. 135–146.
21. **Лукьянова Л.М.** Методология автоматизированного формирования целей систем производственной сферы // Морские интеллектуальные технологии. № 3(37). Т. 1. 2017. С. 124–129.
22. **Лукьянова Л.М.** Аналитический отчет по проблемам рыбохозяйственного комплекса Калининградской области [Электронный ресурс]. Калининград: БФУ им. И. Канта, 2014. 27 с.
23. **Лукьянова Л.М.** Анализ проблем и целей системы водоснабжения и водоотведения городского округа «Город Калининград» // Балтийский экономический журнал. №4(24). 2018. С. 115–128.
24. **Лукьянова Л.М., Иванова К.В.** Анализ проблем загрязнения окружающей среды предприятиями строительной сферы и целей для их решения // Балтийский экономический журнал. №3(23). 2018. С. 101–110.
25. **Weldegiorgish T.K., Lukyanova L.M.** Problems and goals of the researching the population of the blue shark (prionaceglauca) in Central Eastern Atlantic [Электронный ресурс] / Материалы VII Межд. Балтийского морского форума (Калининград, 7–12 октября 2019 г.): VII МНК «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». Калининград: БГАРФ, 2019. Т. 3. С. 190–197. URL: http://catalog.inforeg.ru/Inet/GetEzineByID/326181.

N.J. Lukyanova, L.M. Lukyanova (Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad)
L.N. Fedorchenko (St. Petersburg Institute of Information Science and Automation Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

Methodological Basis of Objectivation of the Systems Analysis Logical Component in the Production Sphere

A significant weight of subjective models in systems analysis (SA) is discussed, the use of which reduces the degree of system correctness (logical coherence and completeness) of solutions generated in the SA. The relevance of the development of a methodological basis for objectifying the logical component of the SA based on the system-target approach and semiotic models of goals, a tree of goals and reasoning about goals has been substantiated. The formulation and solution of the logical problems by means of the specified methodological base development are given, as well as examples of its use.

Е. К. ГРУДЯЕВА, С. Е. ДУШИН
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ В РЕАКТОРЕ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ КЕЙПТАУНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Статья посвящена изучению управляемых процессов в биореакторе со структурной схемой Кейптаунского университета. Для исследования процессов очистки использовалась математическая модель ASM1. Определены рабочие значения расходов рецикла в зависимости от входного расхода, необходимые для эффективной очистки по аммонийному азоту, а также предложен способ расширения диапазона регулирования этих значений в совокупности с регулированием подачи кислорода в аэробную зону реактора. Показана специфическая роль аэробной зоны в UCT-реакторе, которая играет ключевую роль и влияет как на нитрификацию, так и на денитрификацию за счет нитратного рецикла.

Введение. В работе изучаются технологические процессы биоректора со структурной схемой Кейптаунского университета (UCT-процесс, University of Cape Town). Хотя исследуемая схема преимущественно используется за рубежом, в России также можно найти примеры использования данной схемы на очистных сооружениях.

Сложность биохимических процессов, действия возмущений, связанных с нестабильностью концентраций поступающих загрязнений, изменением температуры воды и окружающей среды и т. п., приводит к необходимости разработки системы управления процессами биоочистки. Эффективность работы такой системы требует создания математической модели и анализа ее динамических свойств.

Постановка задачи. Эффективное управление сложными биохимическими процессами предполагает изучение динамики UCT биореактора с использованием математических моделей. Ставится задача разработки такой модели и проведения анализа поведения для последующего синтеза системы управления.

Математическое описание химико-биологических процессов в реакторе возможно с использованием модели ASM1 (Activated Sludge Model) [1]. Система уравнений представляет собой совокупность четырех подсистем дифференциальных уравнений для каждой зоны. Уравнения составлены для концентраций растворимых и взвешенных веществ. Модель включает 36 нелинейных дифференциальных уравнений. На основе модели ASM1 составлена компьютерная модель биореактора в программной среде MATLAB/Simulink.

Исследования поведения многозонной системы позволяют утверждать о наследовании динамических свойств однозонной модели нитри- и денитрификации [2].

Анализ влияния расходов входного потока и потоков рециклов. Результаты проведенных вычислительных экспериментов показали, что существует критическое значение входного расхода сточных вод, при котором происходит вымывание активного ила и, как следствие, прекращение очистки (рис. 1). Увеличение концентраций загрязнителей на входе ведет к увеличению критического расхода входного потока, при котором происходит вымывание активного ила в зонах 1 и 2. Однако максимальный расход для зон 3 и 4 сохраняется практически неизменным, так как аэробный рост ила определяется концентрацией растворенного кислорода.

Увеличение расхода аноксидного рецикла приводит к уменьшению концентрации бактерий-денитрификаторов в зоне 1 и к росту денитрификаторов в зоне 2. Причина такого поведения – в недостатке питания для бактерий первой зоны, в которую поступает поток из второй, с более высокой концентрацией бактерий и незначительной концентрацией нитратов. Рост аноксидного рецикла увеличивает общий поток через последующие зоны 3 и 4, что при сравнительно небольшом числе бактерий ведет к их вымыванию. Поэтому эффективная очистка может происходить при значениях расхода аноксидного рецикла в определенных ограниченных пределах.

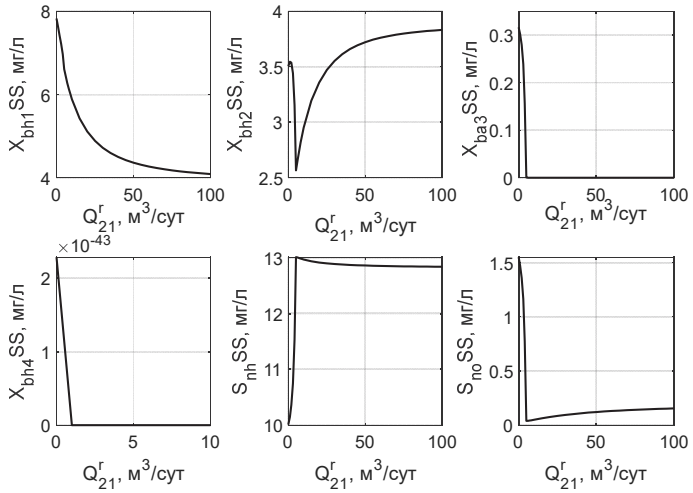


Рис. 1. Зависимости установившихся концентраций бактерий
и загрязнителей на выходе от нитратного рецикла

В условиях взаимного влияния рециклов постепенное увеличение нитратного рецикла ведет к сужению диапазона допустимых рабочих значений аноксидного рецикла, причем сужение происходит быстрее, чем рост нитратного рецикла, при этом зона 4 практически теряет бактериальную составляющую.

При отключенном аноксидном рецикле эффективная очистка также возможна при значениях расхода нитратного рецикла, сравнимых со значением расхода исходной сточной воды. Специфика аэробной зоны UCT-реактора в ее ключевой роли, связанной с влиянием как на нитрификацию, так и на денитрификацию за счет нитратного рецикла. Сохранение денитрифицирующих бактерий в первых двух зонах при вымывании нитрификаторов из зоны 3 ведет к ухудшению очистки по нитратам. Увеличение расхода аноксидного рецикла приводит к схожему характеру процесса.

Регулирование уровня концентраций аммонийного азота характеризуется узким диапазоном расходов рециклов – аноксидного и нитратного, превышение которого уже не ведет к эффективной очистке из-за вымывания культуры нитрифицирующих бактерий. Расширение этого диапазона возможно за счет увеличения подачи кислорода в аэробную зону.

Установлено оптимальное значение расхода потока нитратного рецикла для удаления аммонийного азота, рис. 2. Увеличение расхода сопровождается нежелательным перерегулированием. Можно говорить об оптимальном управлении нитратным рециклом по минимальной установившейся концентрации аммонийного азота в отсутствии перерегулирования.

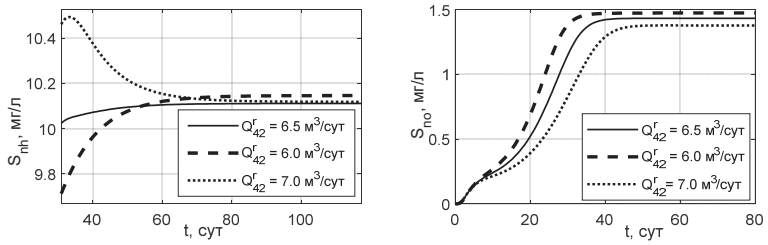


Рис. 2. Процессы изменения концентраций загрязнителей на выходе
при различных значениях расходов нитратного рецикла

Процессы изменения концентраций загрязнителей на выходе при различных значениях расходов нитратного рецикла.

Анализ влияния входных концентраций загрязнителей. Вычислительные эксперименты с различными концентрациями аммонийного и нитратного азота на входе показали, что в отсутствии рециклов концентрации ила в первых двух зонах определяются содержанием питания в исходной воде, поэтому при нахождении зависимости роста бактерий от аммонийного азота в исходной воде установившиеся значения концентраций денитрификаторов в этих зонах не меняются. В аэробной зоне рост бактерий напрямую зависит

от содержания аммония в исходной воде. Рост бактерий отсутствует при содержании субстрата ниже минимальной критической точки и происходит вымывание культуры. Эта критическая минимальная концентрация влияет и на зону 4.

Включение отдельно аноксидного рецикла ведет к увеличению минимальной концентрации аммонийного азота, достаточной для роста бактерий в зоне 4. Включение только нитратного рецикла приводит к влиянию концентраций бактерий в зонах 3 и 4 на их концентрацию в зоне 2 в зависимости от содержания нитратов в рецикле. После роста бактерий в зоне 3 концентрация бактерий в зоне 2 также начинает расти.

Одновременное включение аноксидного и нитратного рециклов приводит к аналогичным процессам в первой зоне.

Нитратный рецикл оказывает более благоприятное влияние на удаление аммонийного азота, чем аноксидный.

Поскольку в зонах 1 и 2 точка минимальной входной концентрации нитратного азота отсутствует, для обеспечения работы UCT-ректора достаточно только аммонийного азота. Эксперименты показывают, что реактор успешно справляется с загрязнениями при отсутствии или небольшом содержании нитратного азота в исходной воде и высоких значениях аммонийного азота, рост которых влияет практически только на рост денитрификаторов в зоне 1. Причина такого поведения в том, что аэробная зона способна производить субстрат (нитраты) для денитрификаторов.

Установлено, что с увеличением входной концентрации нитратов усиливается анаэробный рост бактерий-денитрификаторов в зонах 1 и 2. Однако это актуально только для небольших концентраций аммонийного азота в исходной воде. Рост расхода любого из рециклов ведет к тому, что увеличение аммонийного азота в исходной воде практически перестает влиять на нитраты в очищенной воде. В этом случае необходимо дополнительно усилить рост аэробных бактерий добавлением кислорода.

Анализ влияния концентрации растворенного кислорода в зоне нитрификации. Вычислительные эксперименты в отсутствии потоков рециклов позволили получить зависимости установившихся концентраций бактерий и загрязнителей от концентрации кислорода в зоне нитрификации. Из них следует, что существует точка минимальной концентрации растворенного кислорода необходимого для роста бактерий-нитрификаторов в зоне 3 и бактерий-денитрификаторов в зоне 4.

Включение рециклов приводит к увеличению минимальной концентрации кислорода в зоне 4. Благодаря наличию нитратного рецикла в зоне 2 наблюдается увеличение концентрации бактерий-денитрификаторов. Это связано с поступлением нитратов вместе с потоками рециклов.

Заключение. Проведенные исследования позволили установить зависимость расходов рециклов от расхода на входе и взаимное ограничивающее влияние рециклов друг на друга. Регулирование концентрации аммонийного азота имеет узкий диапазон расходов рециклов – аноксидного и нитратного, превышение которого уже не ведет к снижению концентрации загрязнений из-за вымывания культуры нитрифицирующих бактерий.

Установлено, что существует оптимальный расход потока нитратного рецикла для удаления аммонийного азота. Нитратный рецикл оказывает более благоприятное влияние на удаление аммонийного азота, чем аноксидный при тех же значениях расхода как при отдельной работе рециклов, так и при одновременной.

UCT-ректор способен работать в отсутствии в исходной сточной воде нитратного азота либо при очень небольшом его содержании. Концентрация аммонийного азота при этом может и должна достигать достаточно больших значений.

Проведенные исследования положены в основу разрабатываемой системы управления биологическими процессами очистки сточных вод с логико-динамическим регулятором.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хенце М.** Очистка сточных вод / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. М.: Мир, 2009. 480 с.
2. **Грудяева Е.К., Душин С.Е.** Моделирование управляемых процессов биологической очистки сточных вод. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. 222 с.

E.K. Grudyaeva, S.E. Dushin, (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg)

Modeling of controlled biological treatment processes in a University of Cape Town process reactor

The paper is devoted to the study of processes in the bioreactor with the structural scheme of the University of Cape Town. The ASM1 mathematical model is used to study purification processes. Operating values of recycle flow rates are determined depending on input flow rate required for effective purification of ammonium nitrogen, and a method is proposed to expand the range of control of these values in combination with regulation of oxygen supply to the aerobic zone of the reactor. The specific role of the aerobic zone in the UCT reactor having a key role and affects both nitrification and denitrification due to nitrate recycling is shown.

Б. Я. Советов, Т. М. Татарникова, В. В. Цехановский
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

АВТОРЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Актуальность прогнозирования сетевого трафика обусловлена требованием хранения большого количества данных в течение продолжительного времени. В связи с этим возникает необходимость прогнозирования объемов трафика с целью принятия необходимых мер по защите и сохранению данных. В работе обосновывается применение моделей авторегрессионного класса для построения прогнозных оценок. Приведены результаты, позволяющие обосновать перспективные требования к объемам памяти узлового оборудования инфокоммуникационной сети.

Введение. Развитие инфокоммуникационных технологий с каждым десятилетием преодолевает новую планку ограничений пропускной способности и приводит к увеличению количества пользователей сети Интернет [1].

Простота в использовании и доступность гаджетов привносят новые медиа ресурсы, вследствие чего, интернет трафик становиться разнородным [2]. В начале XXI века обнаружены новые особенности сетевого трафика, такие как самоподобность и «пакетирование», которые влияют на нагрузку сетевых узлов.

Основным свойством самоподобия является накопление памяти – сильная зависимость от предыдущих значений. Интернет-трафик при сглаживании имеет определенную структуру с трендом, на которую стохастически влияют редкие «всплески» пакетов – пакетирование. Такого рода всплески влияют на математические моменты временной последовательности как в локальных масштабах времени, так и на больших размахах. Пакетирование может являться причиной потери данных. В связи с этим возникает необходимость прогнозирования явления пакетирования с целью принятия необходимых мер по защите и сохранению данных.

Актуальность проблемы обусловлена законодательным требованием хранения большого количества данных в течение продолжительного времени.

Представленные графики прогноза роста трафика опубликованы на официальном сайте Cisco с обновлениями от 7 февраля 2017 г. [3]. Данные имеют отношение к глобальному трафику и датируются 2016 г.

Согласно исследованию Cisco, в 2016 г. объем мобильного трафика вырос на 63 % по сравнению с 2015 г. К концу 2016 г он достиг 7,2 ЭБ в месяц при объеме в 4,4 ЭБ к концу 2015 г. По доле в общем потоке IP-трафика и по общему приросту интернет-трафика по-прежнему будет доминировать видео: 80 % всего интернет-трафика к 2021 г., тогда как в 2016 г. этот показатель составлял 67 %. К 2021 г. в мире будет около 1,9 млрд пользователей интернет-видео не считая тех, кто пользуется исключительно мобильной связью, тогда как в 2016 г. таких было 1,4 млрд. К 2021 г. через мировой интернет в месяц будет передаваться 3 трлн минут видео. Установлено, что наибольшее статистическое самоподобие имеет канал с передачей видео. Ввиду этого будет возрастать востребование к прогнозу такого канала передачи информации.

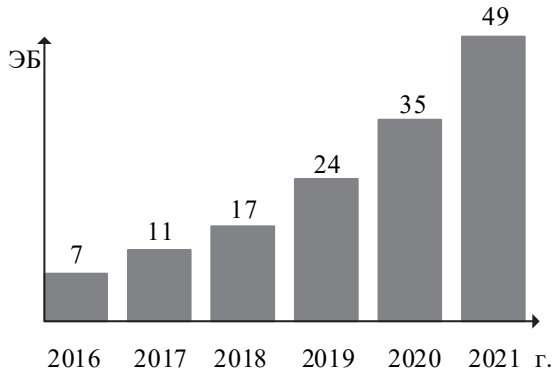


Рис. 1. Прогноз роста трафика от Cisco

Обзор существующих решений. Модели прогнозирования разделяют на два вида: статистические и структурные. Для статистических моделей функциональная зависимость задается аналитически. К таким моделям относятся: регрессионные, авторегрессионные и экспоненциального сглаживания. В свою очередь структурные модели основаны на зависимости структур. К ним относятся: нейросетевые модели, модели на базе цепей Маркова и деревья принятия решений. В таблице ниже приведены достоинства и недостатки выше перечисленных методов.

Таблица

Модели и методы прогнозирования

Модели и методы	Достоинства	Недостатки
Регрессионные	Простота в моделировании и проектировании	Сложность нахождения оптимальных коэффициентов и функциональной зависимости
Авторегрессионные	Простота в моделировании и анализа	Нельзя моделировать нелинейные процессы
Экспоненциальное сглаживание	Простота моделирования	Узкая применимость моделей
Нейросетевые	Большое разнообразие архитектур; нелинейность	Сложность в выборе архитектур; размер обучающей выборки; большие временные и ресурсоемкие затраты на обучение
Цепи Маркова	Единообразие проектирования	Узкая применимость моделей; нельзя моделировать долгосрочные процессы
Классификационно-регрессионные деревья	Простота обучения модели; возможность масштабирования	Сложность построения алгоритма дерева

В работе [4] анализируются статистические и структурные модели прогнозирования, где делается вывод о применимости статистических моделей для краткосрочного прогноза и структурных – для среднесрочного и долгосрочного прогноза. В рамках рассматриваемой задачи прогнозирования трафика, с целью выделить достаточный ресурс для хранения трафика в узловом оборудовании на краткосрочном периоде времени, авторегрессионная модель имеет ряд преимуществ перед структурными (обучаемыми) моделями. В условиях малого количества данных и отсутствия времени на обучение, данная модель способна прогнозировать с меньшей ошибкой на коротких промежутках времени.

Прогнозирование реальных данных. Для получения среднесрочных и долгосрочных прогнозов необходимы длинные записи трасс трафика [5]. Это, казалось невыполнимое условие, было выполнено благодаря открытой публикации данных интернет-трафика исследовательской группы Японии MAWI проекта WIDE. В тренировочном наборе задействованы 24-часовые трассы за 05.09.2018 г. и 04.09.2019 г., 48-часовые трассы за 01.09-11.2007 г., 72-часовые трассы за 18-20.03.2008 г., 96-часовые трассы за 30.03.2009 г. и 01-04.02.2009 г.

К полученным данным реального сетевого трафика будут применяться модели из авторегрессионного класса: ARIMA – интегрированная модель авторегрессии и скользящего среднего, а также SARIMA – модификация ARIMA с выделением сезонности. Для определения оптимальных параметров моделей, был проведен полный перебор по возможным значениям. Выявлены наилучшие значения параметров для модели ARIMA (p, d, q):

p – порядок отставания = 3;

d – степень разности = 1;

q – порядок скользящей средней = 2.

Для модели SARIMA (p, d, q), (P, D, Q), m и управление детерминированным трендом:

p – порядок авторегрессии тренда = 2;

d – порядок изменения тренда = 1;

q – тренд скользящей средней = 2;

P – сезонный порядок авторегрессии = 1;

D – порядок сезонных разниц = 0;

Q – сезонный порядок скользящих средних = 2;

m – количество временных шагов за один сезонный период = 0.

Для обеих моделей выбрана одна дата для качественной оценки сравнения значений предсказания. Сравнение моделей будет проводиться на данных за (двое суток) 09-10.04.2019 г.

Разделение данных на тренировочные и тестовые приводятся к соотношению 3 к 1. Исходные данные нормализованы, то есть вся числовая последовательность поделена на максимальные значения из ряда. Основным критерием отклонения от исходных данных выбран – MSE (Mean Squared Error) – среднеквадратическая ошибка:

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2, \quad (1)$$

где Y_i – значение оригинала, $\hat{Y}_i$ – значение предсказания.

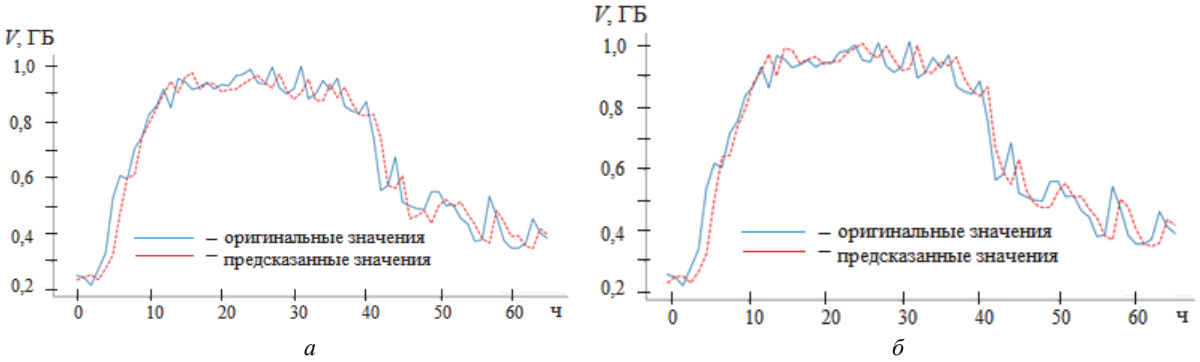


Рис. 2. Сравнение объемов оригинального трафика с предсказанными по модели:
а – ARIMA, MSE=0,004; *б* – SARIMA, MSE=0,006

Из представленных выше результатов предсказания, можно сделать вывод, что модели повторяют геометрию с небольшим отклонением. Предсказания для модели SARIMA можно улучшить путем увеличения исходных данных с визуальной сезонностью.

Модели авторегрессионного класса вполне подходят для интеграции в сетевые устройства как аналитическая программа, работающая на агрегационных данных, что позволит в реальном времени предсказывать поведение объема трафика на коротком промежутке времени.

Заключение. Рост объемов разнородного трафика в инфокоммуникационных сетях актуализирует вопросы обеспечения качества предоставляемых услуг связи, что в свою очередь требует обращения к моделям прогнозирования. Результаты, полученные в работе, позволяют обосновать перспективные требования к объемам памяти узлового оборудования инфокоммуникационной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Индикаторы информационного общества: 2014. Статистический сборник. М.: НИИ «ВШЭ», 2015. 320 с.
2. **Кузовкова Т.А.** Оценка роли инфокоммуникаций в национальной экономике и выявление закономерностей ее развития. // *Системы управления, связи и безопасности*. 2015 № 4. С. 26-68.
3. Электрон. текстовые дан. www.cisco.com/URL:https: //www.cisco.com/c/ru_ru/ about/press/press-releases/ 2017/06-09b.html (дата обращения: 26.04.2020).
4. **Советов Б.Я., Татарникова Т.М., Пойманова Е.Д.** Организация многоуровневого хранения данных // *Информационно-управляющие системы*, 2019. № 2. С. 68–75. doi:10.31799/1684-8853-2019-2-68-75.
5. **Lorido-Botran Tania, Miguel-Alonso Jose, Lozano Jose A.** A review of auto-scaling techniques for elastic applications in cloud environments // *Journal of grid computing*. 2014. Vol. 12. № 4. P. 559–592.

B.Ya. Sovetov, T.M. Tatarnikova, V.V. Cehanovsky, (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg)

Autoregression Network Traffic Prediction Models

The relevance of forecasting network traffic is due to the requirement to store a large amount of data for a long time. In this regard, it becomes necessary to predict traffic volumes in order to take the necessary measures to protect and preserve data. The paper substantiates the use of autoregressive class models for constructing predictive estimates. The results are given, which make it possible to substantiate the prospective requirements for the memory volumes of the nodal equipment of the infocommunication network.

А. В. СПЕСИВЦЕВ
СПИИРАН, Санкт-Петербург

И. Т. КИМЯЕВ
СИБИНТЕК, ООО ИК, Москва

Н. Г. ДОМШЕНКО
СПбГУ, Санкт-Петербург

УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКО-ВОЗМОЖНОСТНОЙ МОДЕЛИ

Исследование посвящено разработке критерия степени согласованности реального и модельного управления сложным технологическим процессом применительно к цветной металлургии. Критерий сформирован с использованием нечетко-возможностной модели, построенной на основе явных и неявных экспертных знаний.

Введение. Полезность нечетко-возможностного моделирования при оценивании степени согласованности исследуемого технологического процесса, реализуемого в рамках конкретного сложного объекта (СлО) и требуемого уровня его формализации и последующей автоматизации, состоит в том, что, с одной стороны, при таком оценивании учитывается в целом реально существующая неопределенность, связанная с созданием и применением СлО, а с другой, – сам процесс приобретает черты процесса функционирования киберфизической системы (КФС).

Применительно к пирометаллургическому процессу переработки сульфидных медно-никелевых руд в печах Ванюкова (ПВ), как было показано в предыдущих исследованиях [1, 2], каждая смена ведет процесс по-своему, опираясь исключительно на собственный опыт.

Однако, несмотря на явно наблюдаемые различия в практике управления загрузкой, среднесменные показатели во всех сменах практически одинаковы. При этом понятие «качество ведения процесса» отсутствует как таковое. Из этого факта вытекают, по крайней мере, две важные задачи: поиск эффективных показателей, численно характеризующих меру воздействия оператора на процесс, и формирование критерия оценки качества управления процессом технологическим персоналом.

Целью данного исследования является разработка критерия оценивания степени согласованности технологического процесса, связанного с функционированием СлО и его нечетко-возможностной модели, построенной на явных и неявных знаниях экспертов [1, 3].

Построение нечетко-возможностной модели [1, 3] на первом этапе работы с экспертом предусматривает выбор наиболее значимых переменных и на этой основе формирование факторного пространства (ФП), в котором предполагается решение задачи.

Для оценивания степени согласованности ПВ с соответствующей моделью экспертом были выбраны следующие переменные:

X_1 – загрузка металлосодержащих, т/ч;
X_2 – загрузка флюсов, т/ч;
X_3 – расход кислорода, $м^3$/ч;
X_5 – расход природного газа, $м^3$/ч;
X_6 – расход угля, т/ч;
X_{23} – отклонение содержания меди в штейне от заданного, безразмерная величина (б/р);
X_{24} – отклонение содержания меди в шлаке от заданного в сторону увеличения, б/р;
Y_{19} – степень согласованности, б/р.

Применив ранее разработанную методику [3] удалось построить следующую полиномиальную модель:

$$Y19 = 0{,}52617 + 0{,}05742x1 - 0{,}0293x23 - 0{,}09258x24 + 0{,}0293x6 + 0{,}05273x1x5 + 0{,}03164x2x5 + 0{,}03164x3x5 + 0{,}04102x3x6 + 0{,}0293x23x24 + 0{,}0293x1x5x24 + 0{,}02461x2x3x24 + 0{,}02695x2x23x24, \quad (1)$$

где все переменные представлены в стандартизованном масштабе. В (1) оставлены без изменения обозначения переменных, предложенные в предыдущих работах [2, 4].

Оценивание значимых коэффициентов в (1) выявило даже тройные взаимодействия. Это подчеркивает сложность технологического процесса, где в турбулентной ванне взаимодействуют физико-химические, тепловые, массообменные и гидроаэродинамические процессы.

Таким образом, рассчитываемая по формуле (1) переменная «степень согласованности» приобретает свойства существенного критерия в управлении технологическими процессами. При этом технологическая функция управления заключается в обеспечении устойчивости протекания физико-химических процессов в реакционной и отстойной зонах ПВ. Поскольку же инерционность по содержанию основных компонентов в шихте достаточно велика, то период квантования в рамках проводимых исследований был выбран достаточно большим и равным двум часам.

В настоящее время на разработанном на основе моделей вида (1) программно-математическом обеспечении интеллектуальной АСУ (ИАСУ) ПВ на основе исходной информации, получаемой от АСУ ПВ и других информационных систем, *в режиме реального времени* проводятся расчеты текущего состояния процесса, анализируется наличие технологического дисбаланса (конфликта) и в случае идентификации конфликтных ситуаций оператору сообщаются предложения по сценариям разрешения конфликта. Предлагаемая ИАСУ ПВ выступает, таким образом, в роли «советчика оператору» и визуализирует информационные каналы, которые отображают для пользователя критерии степени сбалансированности технологического процесса, в основу которых положена нечетко-возможностная модель вида (1).

В разработанной ИАСУ ПВ ситуационно используется более 10 нечетких моделей, описывающих технологический процесс разделительного плавления шихт в печи Ванюкова, построенных на основе более 20 лингвистических переменных, а также аналитические локальные модели работы по всей цепочке вспомогательных механизмов, обеспечивающих функционирование процесса Ванюкова в целом. Построенная таким образом «виртуальная печь» Ванюкова и работающая на той же информационной основе, что и промышленный образец, позволяет получать адекватные расчеты как по ведению процесса плавки, так и по качеству конечных продуктов плавки.

Заключение.

1. Предложенный критерий степени согласованности реально протекающего технологического процесса и соответствующей моделью, его описывающей, является наиболее информативным по сравнению с ранее предложенными критериями
2. В разработанной нечетко-возможностной модели удалось в явном виде связать управляющие и управляемые переменные, что позволяет ее рассматривать в качестве эффективного инструмента интерактивного управления сложным технологическим процессом с использованием АРМ оператора.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Спесивцев А.В.** Металлургический процесс как объект изучения: новые концепции, системность, практика. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 307 с.
2. **Спесивцев А.В., Дайманд И.Н., Лазарев В.И., Кащук А.П.** Интеллектуальная автоматизированная система управления процессом плавки ПВ-3 Медного завода ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» // Известия вузов. Цветная металлургия, 2014. №5. С. 64-69.
3. **Игнатьев М.Б., Марлей В.Е., Михайлов В.В., Спесивцев А.В.** Моделирование слабо формализованных систем на основе явных и неявных экспертных знаний. СПб: Политех-пресс, 2018. 430 с.
4. Патент РФ № 2 571 968. Способ автоматического управления процессом плавки медно-никелевого сульфидного сырья в печи Ванюкова при переработке сульфидной шихты на штейн / Орешкин С.А., Спесивцев А.В., Лазарев В.И., Козловский В.Г., Кащук А.П. Опубл. Бюл. № 36 от 27.12.2015.

A.V. Spesivtsev (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg), I.T. Kimyaev (SIBINTEK IC LLC, Moscow), N.G. Domshenko (St. Petersburg University, Saint Petersburg)

Control of a Complex Technological Process Based on a Fuzzy-Possible Model

The study is devoted to the development of a criterion for the degree of consistency of real and model control of a complex technological process as applied to non-ferrous metallurgy. The criterion was formed using a fuzzy-possibility model built on the basis of explicit and implicit expert knowledge.

В. А. БЕЗЗУБОВ, А. А. БОБЦОВ
Университет ИТМО, Санкт-Петербург

ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧАСТОТЫ НЕИЗМЕРЯЕМОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ С НЕСТАЦИОНАРНОЙ АМПЛИТУДОЙ

В докладе рассматривается задача синтеза алгоритма идентификации частоты синусоидального возмущающего воздействия, действующего на линейный стационарный объект управления. Данная задача решается в классе объектов с известными параметрами и измеряемым вектором переменных состояния. Сформулированы условия, при выполнении которых обеспечивается сходимость к нулю ошибки оценивания.

Введение. Рассматривается задача идентификации параметров неизмеряемого синусоидального возмущающего воздействия. Отличительной особенностью рассматриваемой задачи является умножение синусоидального возмущающего воздействия на известную нестационарную знакоопределенную скалярную функцию. Такая постановка задачи представляет практический интерес для современных систем обнаружения неисправностей в открытой цепи для однофазного преобразования постоянного тока в переменный (например, [1]).

Задача оценивания параметров синусоидальных сигналов при их измеримости является хорошо изученной (например, [2–4]). В статье [2] для определения параметров использовался градиентный алгоритм с предварительным применением к сигналу апериодического фильтра. Недостатком данного подхода можно считать невозможность определения параметров за конечное время. Алгоритм нелинейного представления синусоидального сигнала с последующим применением нелинейного наблюдателя Люенбергера рассмотрен в статье [3]. В подходе [4] рассматривается метод идентификации параметров гармонического сигнала с нестационарными амплитудой и фазой, использующий запаздывающие сигналы, что позволило получить новый результат для идентификации частоты синусоидального сигнала с нестационарной амплитудой.

Предлагаемый доклад посвящен синтезу алгоритма идентификации частоты неизмеряемого синусоидального возмущения с нестационарной амплитудой, выраженному произведением стационарного синусоидального сигнала на измеряемую скалярную функцию времени, причём производная данной функции не является известной.

Постановка задачи. Рассмотрим линейную стационарную систему на вход которой действует неизмеряемое синусоидальное возмущение с неизвестными амплитудой, частотой и фазой

$$\dot{x} = Ax + B(u + \Phi(t)\delta(t)), \tag{1}$$

где $\delta(t) = \sigma\sin(\omega t + \varphi)$, ω и φ – неизвестные постоянные параметры, $\Phi(t)$ – известная функция времени.

Ставится задача синтезировать алгоритм идентификации неизвестного параметра ω, обеспечивающий для любых $0 < \omega \le \bar{\omega}$ выполнение следующего целевого условия:

$$\lim_{t\to\infty} \left|\omega - \hat{\omega}(t)\right| = 0, \tag{1}$$

где $\hat{\omega}(t)$ – текущая оценка частоты ω.

Допущение 1. Известна верхняя граница $\bar{\omega}$ частоты ω.

Допущение 2. Скалярная функция $\Phi(t)$ является строго положительной и известной. Более того известны числа Φ_0 и Φ_1 такие, что для всех t выполнено $\Phi(t) \ge \Phi_0 > 0$ и $\Phi_1 \ge \left|\dot{\Phi}\right|$.

Допущение 3. Все элементы вектора состояния x измеряемы.

Основной результат. Синтез алгоритма идентификации неизвестного параметра ω будем осуществлять в два этапа. На первом этапе будем предполагать, что сигнал $\Phi(t)\delta(t)$ измеряется. Далее, базируясь на результатах первого этапа, рассмотрим решение задачи (2), допуская, что все элементы вектора состояния x измеряются.

Этап 1. Предположим, что сигнал $\Phi(t)\delta(t)$ измеряется. Тогда система дифференциальных уравнений, описывающая синусоидальное воздействие $\delta(t)$, может быть описана следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2, \\ \dot{z}_2 = -\omega^2 z_1, \\ \delta = z_1. \end{cases} \tag{3}$$

Следуя [5] представим (3) в виде

$$\begin{cases} \dot{\xi}_1 = \xi_2, \\ \dot{\xi}_2 = \theta\xi_1, \\ \delta = k_1\xi_1 + k_2\xi_2, \end{cases} \tag{4}$$

где $\theta = -\omega^2$.

Для удобства дальнейших преобразований представим (4) в векторно-матричном виде

$$\begin{cases} \dot{\xi} = \Gamma\xi, \\ \delta = k^{\mathrm{T}}\xi, \end{cases}$$

где $k^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix}$. Матрица Γ имеет вид:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \theta & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \theta \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} = \Gamma_0 + \theta q h^{\mathrm{T}},$$

где $h^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$, $q^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}$ и $\Gamma_0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$.

Введем в рассмотрение новую переменную

$$\Phi(t)\delta(t) = r(t).$$

Пусть наблюдатель вектора ξ имеет вида

$$\dot{\hat{\xi}} = \Gamma_0\hat{\xi} + \hat{\theta}\hat{\xi}_1 q + \mu q\left(r - \Phi k^{\mathrm{T}}\hat{\xi}\right) = \Gamma_0\hat{\xi} + \hat{\theta}\hat{\xi}_1 q + \mu q\Phi k^{\mathrm{T}}\left(\xi - \hat{\xi}\right), \tag{5}$$

$$\dot{\hat{\theta}} = -\gamma\Phi\tilde{\delta}\hat{\xi}_1 = -\gamma\tilde{r}\hat{\xi}_1, \tag{6}$$

где параметры $\mu > 0$ и $\gamma > 0$, функция $\tilde{r} = \hat{r} - r$, вектор $k = Pq$, а матрица $P = P^{\mathrm{T}} > 0$ является решением матричного уравнения Риккати вида

$$\Gamma_0^{\mathrm{T}} P + P\Gamma_0 - Pqq^{\mathrm{T}}P = -2\alpha P - Q, \tag{7}$$

где матрица $Q = Q^{\mathrm{T}} > 0$ и строго положительное число α удовлетворяет неравенству $\alpha > \dfrac{\Phi_1}{\Phi_0}$.

Этап 2. Поскольку по условиям задачи сигнал $\Phi(t)\delta(t) = r(t)$ не измеряется, то возникает необходимость модификации алгоритма идентификации вида (5), (6). Осуществляя простейшие алгебраические манипуляции с уравнением **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, для сигнала $r(t)$ получаем

$$r(t) = \frac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}(\dot{x} - Ax) - u.$$

Введём новую переменную $\chi = \hat{\xi} - \mu q\dfrac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}x$. Дифференцируя данную переменную имеем

$$\dot{\chi} = \Gamma_0\hat{\xi} + \hat{\theta}q\hat{\xi}_1 - \mu q\left(\Phi k^{\mathrm{T}}\hat{\xi} + \frac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}Ax + u\right).$$

Выразим $\hat{\xi}_1$ через χ, тогда

$$\hat{\xi}_1 = h^{\mathrm{T}}\hat{\xi} = h^{\mathrm{T}}\chi + h^{\mathrm{T}}q\frac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}x = h^{\mathrm{T}}\chi \Rightarrow \dot{\hat{\xi}}_1 = h^{\mathrm{T}}\dot{\chi} = \hat{\xi}_2 .$$

Введём переменную $\eta = \hat{\theta} - \gamma\hat{\xi}_1\frac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}x$, дифференцируя которую по времени получим

$$\dot{\eta} = -\gamma\hat{\xi}_1\hat{r} - \gamma\dot{\hat{\xi}}_1\frac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}x - \gamma\hat{\xi}_1\left(\frac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}Ax + u\right) = -\gamma\hat{\xi}_1\left(\Phi k^{\mathrm{T}}\hat{\xi} + \frac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}Ax + u\right) - \gamma\hat{\xi}_2\frac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}x .$$

Таким образом, на базе алгоритма (5), (6) получаем его реализуемый аналог, не предусматривающий измерения сигнала $\Phi(t)\delta(t) = r(t)$

$$\begin{cases} \dot{\chi} = \Gamma_0\hat{\xi} + \hat{\theta}q\hat{\xi}_1 - \mu q\left(\Phi k^{\mathrm{T}}\hat{\xi} + \dfrac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}Ax + u\right), \\ \dot{\eta} = -\gamma\hat{\xi}_1\left(\Phi k^{\mathrm{T}}\hat{\xi} + \dfrac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}Ax + u\right) - \gamma\hat{\xi}_2\dfrac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}x, \\ \hat{\xi} = \chi + \mu q\dfrac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}x, \\ \hat{\theta} = \eta + \gamma\hat{\xi}_1\dfrac{B^{\mathrm{T}}}{B^{\mathrm{T}}B}x. \end{cases} \quad (8)$$

Заключение. Предложен алгоритм вида (20) для оценивания частоты неизмеряемого синусоидального сигнала с нестационарной амплитудой для линейного стационарного объекта (1).

В качестве перспективных шагов развития предлагаемого результата видится его расширение на случай *n* гармоник, а также неизмеряемости вектора переменных состояния модели (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Salehifar M., Arashloo R.S., Moreno-Eguilaz M., Sala V., and Romeral L.** Observer-based open transistor fault diagnosis and fault-tolerant control of five-phase permanent magnet motor drive for application in electric vehicles // IET Power Electronics. 2015. Vol. 8, P. 76–87.
2. **Aranovskiy S.V., Bobtsov A.A., Kremlev A.S., Nikolaev N.A., Slita O.V.** Identification of Frequency of Biased Harmonic Signal // European Journal of Control. 2010. Vol. 50. P. 129-139.
3. **Praly L., Isidori A., Marconi L**. A new observer for an unknown harmonic oscillator. 17th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems. 2006. P. 24–28.
4. **Vedyakov A.A., Vedyakova A.O., Bobtsov A.A., Pyrkin A.A., Kakanov M.A.** Frequency estimation of a sinusoidal signal with time-varying amplitude and phase // IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51. P. 663–668.
5. **Bobtsov A.A.** New approach to the problem of globally convergent fre-quency estimator // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. 2008. Vol. 22. N 3. P. 306–317.

V.A. Bezzubov, A.A. Bobtsov, (ITMO University, Saint-Petersburg)

Identification of a Frequency for the Unmeasured Harmonic Signal with Time-Varying Amplitude

In this report the problem of identification algorithm for unknown frequency of a sinusoidal disturbance for a linear plant was considered. This problem is solved in the class of plants with known parameters and a measured of state. Necessary conditions for stability of identification algorithm were formed.

В. И. МЕДЕННИКОВ
ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва

А. Н. РАЙКОВ
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ЛОГИСТИКЕ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

На основе анализа эволюции информационных технологий в мире от разрозненного учета отдельных операций до интеграции их на базе облачных технологий предлагается гибкая математическая модель трансформации управления в логистике. Для этого формируется единая цифровая логистическая платформа как связующее звено всех участников цепочки создания добавленной стоимости, включая производителей продукции, поставщиков ресурсов, потребителей продукции и логистических компаний. При этом из логистической цепочки исключаются посредники, которые не создают добавленной стоимости.

Введение. Россия в рейтинге эффективности логистики занимает 95 место в мире, поэтому потребность в цифровой трансформации данного вида деятельности очевидна. Одним из весомых факторов повышения качества логистики в стране – это совершенствование различных видов объединений между всеми участниками логистических цепочек за счет формирования единого информационного пространства цифрового взаимодействия, на основе современных методов моделирования и сквозных цифровых технологий, включая искусственный интеллект.

Обзор. В результате эволюции ИКТ в логистике можно выделить следующие виды объединений по мере степени их интеграции: субконтрактинговая сеть поставок (ССП), информационная субконтрактинговая сеть (ИСС), производственно-логистическая сеть (ПЛС) [1, 2]. В отличие от ИСС, являющейся некоторой «доской объявлений», в ПЛС единое информационное пространство (ЕИП) является площадкой планирования и управления проектами в Интернет с общей БД в «облаке», размещаются данные по выполнению логистических операций, классификаторы, нормативы, общие для всех зарегистрированных участников.

Если в концепции ПЛС в ЕИП включена лишь незначительная часть различных автономных предприятий с ограниченным набором информационного наполнения, то в концепции национальной платформы «Цифровое сельское хозяйство» авторами была предложена математическая модель формирования единой цифровой логистической платформы [3]. Настоящая работа посвящена расширению этой модели для обеспечения возможности формировать цепочки поставок произвольной конфигурации с участием уже большинства хозяйствующих субъектов практически всех отраслей страны.

При построении модели учитывалось, что особое место в развитии логистической деятельности в мире сейчас занимает ее интеллектуальная трансформация. Так, в работе [4] показывается, что без умных цепочек поставок принципиально невозможно построение «умного» города. При этом, среди умных решений следует особо выделить:

- интеллектуальные транспортные системы;
- автономная логистика, обеспечивающая беспилотное перемещение людей и грузов;
- физический интернет для максимально эффективного перемещения товара;
- интеллектуальный груз, обладающий всеми знаниями о своем перемещении;
- самоорганизующаяся логистика, которая может работать без усилий менеджеров.

Логистическая деятельность имеет различные масштабы. Так, в работе [5] отмечается, что в последние годы глобальные логистические операции, связанные с электронной торговлей, стали очень зависеть от времени. Международные курьеры сталкиваются с повседневными проблемами, связанными с временными окнами, задержками, экспресс управления поставками, безопасностью и возвратом налога на добавленную стоимость. Существуют методологии управления цепочками поставок, которые на основе принципов бережливого производства, интегрированных с концепциями Industry 4.0, уже достаточно хорошо решают эти проблемы. В работе [6] логистический параметр является одним из основных для приоритизации и сегментации экспорта агропромышленной продукции страны.

В логистике стоит выделить методы прямого решения задач с жесткой синхронизацией этапов поставки продукции, а также обратного решения задач, при которых оптимальные цепочки поставок оперативно синтезируются под вновь возникающие потребности пользователей. Немаловажное место занимают институциональные построения, механизму управления ответственностью и мотивацией, современные методы построения пространства доверия с применением блокчейн-технологий (распределенные реестры), интернета вещей, облачных и туманных вычислений.

На этом фоне представляется целесообразным предложить достаточно универсальную модель формирования оптимальных логистических цепочек.

Математическая модель. Ставится задача формирования оптимальных логистических цепочек поставки поставщиками продуктов потребителям транспортными компаниями с использованием складов на основе критерия минимизации общих затрат на продукты, транспортировку их, складские услуги. При этом должен происходить выбор поставщиков продуктов, выбор складов, выбор транспортных компаний (ТК) с загрузкой транспортных средств (ТС). В силу этого будут в комплексе решаться задачи: отслеживание транспорта, управление заказами (заявками), управление расходами на транспорт и складские услуги. Считаем, что транспортных компаний достаточное количество, чтобы удовлетворить все потребности, предложение товаров превышает спрос. Процесс управления предполагается периодическим с периодом T и все логистические операции усреднены по времени.

Переменные:

x_{ijk} – объем поставок k-го продукта из пункта j в пункт i, где $i \in I$, $k \in K$, $j \in J$;

y^1_{irns} – объем поставок продукта из пункта s в пункт i r-м видом ТС n-й ТК, где s – номер склада, $s \in S$, $n \in N$, $r \in R$;

y^1_{irnsh} – объем поставок продукта из пункта s в пункт i r-м видом ТС n-й ТК через h-й пункт, $h \in I$;

y^2_{jrns} – объем поставок продукта из пункта j в пункт s r-м видом ТС n-й ТК;

y^3_{ijrn} – объем прямых поставок продукта из пункта j в пункт i;

y^4_{ks} – объемы хранения k-го продукта на s-м складе;

Уравнения и неравенства:

$\sum\limits_j x_{ijk} = v_{ik}$, где v_{ik} – объем потребности i-го потребителя в k-ом продукте;

$\sum\limits_i x_{ijk} \le w_{jk}$, где w_{jk} – объем наличия k-го продукта у j-го поставщика;

$\sum\limits_{is} y^1_{irns} + \sum\limits_{js} y^2_{jrns} + \sum\limits_{ij} y^3_{ijrn} \le D_{rn}$, где D_{rn} – суммарная фактическая грузоподъемность всех ТС r-го вида у n-й ТК с учетом удельной объемной грузоподъемности, $D_{rn} = d_r * R_n$, где R_n – количество видов ТС у n-й ТК;

балансовые соотношения: $\sum\limits_{irns} y^1_{irns} = \sum\limits_{jrns} y^2_{jrns}$, $\sum\limits_{jk} x_{ijk} = \sum\limits_{rns} y^1_{irns} + \sum\limits_{jrn} y^3_{ijrn}$, $\sum\limits_{ik} x_{ijk} = \sum\limits_{rns} y^2_{jrns} + \sum\limits_{irn} y^3_{ijrn}$, $\sum\limits_{jrn} y^2_{jrns} = \sum\limits_{k} y^4_{ks}$, $y^1_{irns} = \sum\limits_{h} y^1_{irnsh}$, $\sum\limits_{irn} y^1_{irns} = \sum\limits_{k} y^4_{ks}$;

$d_r - \varepsilon_r \le y^3_{ijrn}$, где d_r – фактическая грузоподъемность r-го вида ТС, выражение определяет требование почти полной загрузки (ε_r – допустимый недозагруз) прямых поставок продукта из пункта j в пункт i r-го вида ТС n-й ТК;

$d_r - \varepsilon_r \le \sum\limits_i y^1_{irnsh}$ – требование почти полной загрузки (ε_r – допустимый недозагруз) r-го вида ТС n-й ТК при поставке продукта из пункта s в пункт i через h-й пункт;

$\sum_k y^4_{ks} \le A_s$, где A_s – мощность склада s.

Критерий эффективности: $c_0 = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 \to \min$, где $c_1 = \sum_{irnsh} f^1_{irnsh}\, y^1_{irnsh}, f^1_{irnsh}$ – расценки перевозки единицы продукта из пункта s в пункт i, $c_2 = \sum_{jrns} f^2_{jrns}\, y^2_{jrns}, f^2_{jrns}$ – расценки перевозки единицы продукта из пункта j в пункт s r-м видом ТС у n-й ТК, $c_3 = \sum_{ijrn} f^3_{ijrn}\, y^3_{ijrn}, f^3_{ijrn}$ – расценки перевозки единицы продукта (без перевалки) из пункта j в пункт i r-м видом ТС у n-й ТК, $c_4 = \sum_{ks} d_{ks}\, y^4_{ks}, d_{ks}$ – расценки на хранение и грузообработку единицы k-го продукта на s–м складе, $c_5 = \sum_{ijk} p_{jk}\, x_{ijk}, p_{jk}$ – цена единицы k-го продукта у j-го поставщика.

В результате получим конкретные значения x^*_{ijk}, y^{*1}_{irns}, y^{*1}_{irnsh}, y^{*2}_{jrns}, y^{*3}_{ijrn}, y^{*4}_{ks}.

Заключение. Предложена математическая модель логистическая платформа, которая позволит наиболее эффективно внедрить технологии распределенных реестров и интеллектуальных контрактов в логистику, потенциально обеспечит отслеживание грузов в режиме реального времени, сокращение трудоемкости процесса и повышение доверия между участниками цепочки поставок.

Поддержана РФФИ, грант 18-29-03086.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Толуев Ю.И., Планковский С.И.** Моделирование и симуляция логистических систем. Киев: «Миллениум», 2009. 85 с.
2. **Байда В.Н., Гайдаш К.А., Ерешко Ф.И., Меденников В.И.** Цифровые платформы в логистике. Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции «Современные сложные системы управления HTCS'2018». СТИ НИТУ «МИСиС», Старый Оскол, 2018. С. 110-113.
3. **Меденников В.И., Райков А.Н.** Применимость опыта цифровой трансформации в мире для формирования единой цифровой платформы сельского хозяйства России / Труды III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Симферополь: ИП Зуева Т.В., 2020. С. 62-68.
4. **Kaufa S.** Smart logistics as a basis for the development of the smart city, *ScienceDirect, Transportation Research Procedia* 39, 2019, pp. 143–149.
5. **Frontoni E., Rosetti R., Paolanti M., Alves A.C**. HATS project for lean and smart global logistic: A shipping company case study, *Manufacturing Letters* 23, 2020, pp. 71–74https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2019.12.003
6. **Raikov A., Abrosimov V.** Import Countries Ranking with Econometric and Artificial Intelligence Methods. *Proc. Third International Conference Digital Transformation and Global Society*, DTGS 2018, St. Petersburg, Russia, 2018, Revised Selected Papers, Part I. p. 402-414. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02843-5_32

V.I. Medennikov (Federal Research Center “Informatics and Control” of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia), A.N. Raikov (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

Digital Transformation of Control in Logistics Based on a Mathematical Model

Based on the analysis of the evolution of information technologies in the world from separate accounting of individual operations to their integration on the basis of cloud technologies, a universal mathematical model of management transformation in logistics is proposed. For this, a single digital logistics platform is being formed as a connecting link for all participants in the chain of value-added creation, including product manufacturers, resource suppliers, product consumers, and logistics companies. At the same time, intermediaries who do not create added value are excluded from the supply chain.

В. А. АКУЛОВ, В. Л. БАЛАКИН
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара

П. П. ДОЛГОВ
Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина,
Звёздный городок Московской области

КОНЦЕПЦИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ДЛИННОРАДИУСНОЙ ЦЕНТРИФУГИ ПОД ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДАЛЬНЕГО КОСМОСА

Представлена расчётно-экспериментальная оценка потенциальных возможностей длиннорадиусной центрифуги ЦФ-18 ЦПК имени Ю. А. Гагарина) по моделированию гипогравитации Луны и Марса и созданию на её основе прототипа тренажёра для подготовки экипажей межпланетных экспедиций. В основу исследований положен принцип параметрической модернизации, состоящий в корректировке эксплуатационных параметров (режимы вращения, состав информационно-аналитической системы, пространственная ориентации кабины и её газовый состав) и не требующий дорогостоящих вмешательств в основные механические и энергетические системы

Введение. Как свидетельствует более, чем полувековой опыт пилотируемой космонавтики, её достижения в значительной степени определяются качеством наземной подготовки экипажей. Подготовка осуществляется в специализированных центрах (РФ, Китай, США) с применением тренажёров, создающих локальную среду, максимально приближенную по параметрам к космическим условиям. Примерами служат центрифуги (ЦФ) и специализированные водные бассейны. На ЦФ имитируются перегрузки, сопровождающие старт и приземление космических аппаратов, а бассейны служат для отработки навыков вне корабельной деятельности космонавтов.

В настоящее время возникла необходимость в создании нового поколения тренажёров, обеспечивающих подготовку экипажей межпланетных экспедиций (освоение Дальнего Космоса) [1]–[6]. Одним из подходов к решению названной проблемы является модернизация существующих тренажёров. В статье такой подход применён к всемирно известной центрифуги ЦФ-18 (ЦПК имени Ю. А. Гагарина).

Объект исследований. Мехатронная система «Человек – длиннорадиусная центрифуга ЦФ-18» (рис. 1, 2).

Рис. 1. Общий вид центрифуги ЦФ-18.
На переднем плане участники XII Международной конференции «Пилотируемые полёты в Космос»

Рис. 2. Общий вид двухместной кабины со стороны входа. Люки открыты

Выбор объекта обусловлен следующими факторами. Во-первых, ЦФ-18 является одним из наиболее совершенных тренажёров, применяемых в мировой космонавтике [3], [4]. Во-вторых, ЦФ-18 относится к категории длиннорадиусных центрифуг (радиус вращения 18 м), что обеспечивает минимальную неоднородность гравитационного поля по сравнению с ЦФ среднего (8–10 м) и короткого радиуса (2 м) [2], [5], [6]. В-третьих, кабина ЦФ-18 двухместная, что

существенно расширяет объём исследований (рис. 2). В-четвёртых, положение кабины в пространстве управляемое, что обеспечивает многообразие направлений воздействия со стороны искусственной силы тяжести. В-пятых, ЦФ оснащена системой регулирования газового состава кабины, что позволяет имитировать атмосферу скафандров, предназначенных для внекорабельной деятельности. В-шестых, обслуживающий персонал обладает высокой квалификацией и многолетним опытом работы с космонавтами.

Цель исследований. Расчётно-экспериментальные исследования потенциала длиннорадиусных центрифуг по созданию прототипа тренажёров, обеспечивающих длительную имитацию гипогравитацию Луны и Марса с воспроизведением газового состава российского, американского скафандров и выполнению научных исследований по космической медицине.

Задачи исследований. 1) Разработка технологической схемы испытаний системы «экипаж - длиннорадиусная центрифуга ЦФ-18», обеспечивающей исследование отклика организма человека на вариации гравитационной нагрузки в диапазоне «модельная невесомость – гипогравитация Луны – гравитация Земли».

2) Расчёт режимов вращения, имитирующих гипогравитацию Луны и Марса. Оценка их реализуемости существующей системой управления.

3) Расчётная оценка градиентов перегрузок в направлении «голова - ноги», возникающих при имитации гипогравитации Луны (однородность искусственной силы тяжести).

Методы исследований. Полноразмерные эксперименты с применением принципа параметрической модернизации, заключающегося в выявлении резервов объекта исследований, корректировке эксплуатационных параметров (режимы вращения, состав информационно-аналитической системы, пространственная ориентации кабины, её газовый состав и т. п.). При этом исключаются дорогостоящие доработки основных систем ЦФ (конструкция ротора, привода, системы управления и безопасности), что обеспечивает экономическую целесообразность и значительное сокращение сроков создания и отладки нового поколения тренажёров, предназначенных для подготовки космонавтов и выполнения научных экспериментов.

Результаты исследований. В результате исследований получены новые знания и решены следующие задачи.

1. Разработана и апробирована технологическая схема испытаний мехатронной системы «человек – ЦФ-18», обеспечивающая детальную оценку состояния человека с вариацией величины и направления воздействия со стороны гравитационной нагрузки в широких пределах, включая невесомость, гипогравитацию Луны и Марса, земную гравитацию.
2. Рассчитаны режимы вращения, обеспечивающие имитацию гипогравитации Луны и Марса. В частности, напряжённость гравитационного поля Луны имитируется при угловой скорости вращения ротора $\omega = 0{,}3\ с^{-1}$ (окружная скорость кабины $V = 5{,}4$ м/с).
3. Установлено, что при имитации лунной гипогравитации неоднородность поля в пределах роста человека не превышает 10%, что важно с точки зрения адекватности модельного поля. Для сравнения: неоднородность поля короткорадиусных ЦФ, широко применяемых в космической медицине составляет 100% [2], [5], [6].
4. Апробирована процедура пространственной ориентации кабины, необходимая для создания воздействия по схеме «голова – ноги» (имитация вертикальной позы космонавтов на поверхности планет).
5. Установлено, что имеющегося на ЦФ-18 оборудования достаточно для одновременной имитации гипогравитации планет и газового состава скафандров. Такое сочетание факторов обеспечивает минимизацию отличий модельных и натурных условий и, что немаловажно, не имеет ближайших аналогов.
6. Впервые предусматривается одновременное вращение двух испытуемых, причём при двух вариантах комплектования экипажа. Вариант 1: два космонавта (испытуемых) для ускоренной подготовки экипажей. Вариант 2: испытуемый и врач, осуществляющий диагностику состояний человека, находящегося в условиях, приближенных к реальным, причём, в темпе испытаний и с применением методов допплерографии.
7. Впервые во вращающейся среде применяется информационно-аналитическая система, построенная на основе теории четырёхполюсников (распределение давления и скоростного потока в системе кровообращения), показавшая высокую эффективность по выявлению скрытых закономерностей периферической гемодинамики.

Заключение. Исследования, выполненные специалистами Самарского университета и Центра подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина, доказали целесообразность и перспективность предлагаемых решений, предназначенных для расширения функций центрифуги ЦФ-18 с последующим её превращением в прототип тренажёров экипажей межпланетных экспедиций, не имеющий ближайших аналогов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральная космическая программа
2. **Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф., Лукьянюк В.Ю.** Проблема создания искусственной силы тяжести с помощью центрифуги короткого радиуса для медицинского обеспечения межпланетных пилотируемых полетов // Авиакосмическая и экологическая медицина. М: 2003. Т. 37, №5. С. 36-39.
3. **Падалка Г.И., Долгов П.П., Киршанов В.Н.** Задачи подготовки космонавтов на центрифугах по перспективным космическим программам // Материалы «Космического форума 2011, посвященного 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина». ФГБУ НИИЦПК, 18–19 октября 2011.
4. **Долгов П.П., Киршанов В.Н., Чудинов А.П.** Основные направления работ на центрифугах и их целевого применения // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полёты в космос», посвященной 55-летию ФГБУ НИИЦПК имени Ю. А. Гагарина, 10–12 ноября 2015. С. 267-268.
5. **Акулов В.А**. Анализ и синтез систем медицинского назначения с управляемой искусственной силой тяжести: Дис. … докт. наук / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва Самара. 2013, 252 с.
6. **Zander V., Anken R.** Short radius Centrifuge – A New approach for Life Science Experiments Under Hyper–g Conditions for Application in Space and Beyond // Recent Patents on Space Technology, 2013, 3. P 74-81.

V. A. Akulov, V. L. Balakin (Samara University, Samara), P. P. Dolgov (Yu.A. Gagarin Research & Testing for Cosmonaut Training Center, Star City of the Moscow Region)

The Concept of Parametric Modernization of a Long-Radius Centrifuge for the Problem of Development of Far Space

The paper presents a computational and experimental assessment of the potential capabilities of the long-radius centrifuge CF-18 (GCTC named after Yu.A. Gagarin) for modeling the hypogravity of the Moon and Mars, and creating a prototype simulator for training interplanetary expedition crews on its basis. The research is based on the principle of parametric modernization, which consists in correcting operational parameters (rotation modes, the composition of the information and analytical system, the spatial orientation of the cabin and its gas composition) and does not require expensive interventions in the main systems.

Е. А. ГРЕБЕНЮК
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗНАЧИМЫХ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ГРАНИЦЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Доклад посвящен вопросам построения оценки эффективности организаций, определяемой как расстояние до Границы Производственных Возможностей (ГПВ) и выявлению значимых факторов ее повышения. Рассматривается два основных подхода к построению ГПВ: DEA (Data Envelopment Analysis) известный в русскоязычной литературе как метод оболочечного анализа данных и метод стохастической границы (Stochastic Frontier Analysis, SFA). Посредством применения разработанной процедуры анализа для двух групп организаций из разных секторов производства (машиностроение и нефтепереработка) было проведено 1)построение эмпирических оценок технологической эффективности, 2)выявление факторов, способствующих технологической неэффективности организации, 3) сравнение методов эффективностей и факторов неэффективности для двух групп предприятий.

Введение. Оценка эффективности и выявление основных факторов ее повышения являются важнейшими элементами анализа деятельности организации. Одним из широко используемых подходов к оценке является анализ взаимосвязей между используемыми ресурсами и производимой продукцией, использующий понятие технологической эффективности, введенное в [1] Купмансом. Эффективность организации определяется им как «способность использовать минимально возможную комбинацию ресурсов при заданном уровне выпуска». В качестве объектов оценки могут быть выбраны производственные процессы, инновации, инвестиционные проекты, управленческая или научная деятельность и пр., набор ресурсов, используемый при ее формировании, зависит от того, какой аспект деятельности анализируется: производственный, финансовый, научный, инновационный. Оценка технологической эффективности вычисляется как расстояние организации до Границы Производственных Возможностей (ГПВ), которая строится в многомерном пространстве параметров группы организаций «ресурсы-выпуск». В настоящей работе рассматриваются два основных подхода к построению ГПВ: метод DEA (Data Envelopment Analysis) [2–3], известный в русскоязычной литературе как Метод оболочечного анализа данных и метод стохастической границы (Stochastic Frontier Analysis, SFA) [4–5]. Предлагаемый доклад посвящен анализу производственного, инновационного и интеллектуального потенциала организаций наукоемких технологий, выявлению факторов, снижающих потенциал. В состав факторов, формирующих оценку, входят как ресурсы, затрачиваемые организацией на выпуск продукции, так и факторы неэффективности, влияние которых описывается моделью неэффективности.

Оценивание эффективности методом стохастической границы

Оценивание потенциала организации. Потенциал организации – это «объем продукции, производимой за определенный период времени при фиксированном объеме основных производственных факторов, воздействии сопутствующих факторов и отсутствии неэффективности. Рассматриваются следующие задачи.

Задача 1. Построение инновационного, производственного, научно-технического, научного потенциалов организации с учетом случайных воздействий и совокупного эффекта воздействия сопутствующих факторов, снижающих реальный потенциал.

Задача 2. Построение инновационного, производственного, научно-технического, научного потенциалов организации с учетом случайных факторов и выявления факторов неэффективности, устранение которых позволит повысить оцениваемый потенциал.

Алгоритмы определения различных потенциалов организации отличаются только выбором параметров выпуска и производственных факторов [6–7]. При построении производственного потенциала в качестве выпуска рассматриваются объемы производимой продукции, в качестве ресурсов – численность производственного персонала, затраты на сырье и оборудование. Для инновационного потенциала используется информация о выпусках инновационной продукции, наличии квалифицированных кадров, необходимого оборудования; для оценки научно- техни-

ческого выпуск оценивается объемами наукоемкой продукции, а в составе производственных факторов, помимо труда и капитала, учитывается интеллектуальный капитал. При оценке интеллектуального капитала, как показано в [6], могут быть выбраны следующие показатели: объем нематериальных активов предприятия, величина разности между капитализацией и балансовой стоимостью материальных активов, показатель Q Тобина.

Постановка Задачи 1. Рассматривается N объектов с k входами $x_i = (x_{i1},\ldots,x_{ik})$, и выходом $y_i, i = 1,2,\ldots,N$, за t периодов, производственная функция каждого объекта $i = 1,2,\ldots,N$; в момент времени $t = 1,2,\ldots,T$ строится в виде:

$$ln\, y_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j\, ln\, x_{jit} + v_{it} - u_{it}, \quad (2)$$

где $\beta_0,\beta_1,\ldots,\beta_k$ – коэффициенты модели; v_{it} – стохастическая ошибка; зависящая от неконтролируемых внешних параметров, которая описывается нормальным распределением $v_{it} \sim N(0,\sigma_v^2)$; u_{it} – технологическая неэффективность, независимая от случайной составляющей v_{it}:

$$u_{it} \approx N^+(\mu, \sigma_u^2), \quad (2a)$$

где $N^+(\mu,\sigma_u^2)$ – усеченное в нуле нормальное распределение с дисперсией σ_u^2, $\mu > 0$ – его математическое ожидание, величина которого определяет средний эффект воздействия совокупности всех факторов, снижающих эффективность выпуска. Требуется:

a) оценить параметры модели: коэффициенты $\beta_0,\beta_1,\ldots,\beta_k$ дисперсию случайной составляющей σ_v^2, дисперсию неэффективности σ_u^2, значение математического ожидания совокупного воздействия факторов неэффективности μ;

b) построить ГПВ, определяющую потенциал организации: производственную функцию в отсутствие неэффективности;

c) оценить технологическую эффективность каждой организации в момент наблюдения t.

Постановка Задачи 2. В условиях задачи 1 модель (2a) заменяется на модель:

$$u_{it} \approx N^+(g_{it}, \sigma_u^2), \quad (2b)$$

где $g_{it} = Z_{it}\delta$, $Z_{it} = (1, Z_{i1},\ldots,Z_{im})$ – вектор значений m факторов неэффективности i-ой организации в момент времени t, $\delta = (\delta_0,\delta_1,\ldots,\delta_m)$ – вектор коэффициентов функции неэффективности, σ_u^2 – дисперсия неэффективности. Требуется:

a) оценить параметры модели: коэффициенты $\beta_0,\beta_1,\ldots,\beta_k$ дисперсию случайной составляющей σ_v^2, дисперсию неэффективности σ_u^2, коэффициенты функции неэффективности $\delta = (\delta_0,\delta_1,\ldots,\delta_m)$;

b) и c) те же, что и в Задаче 1.

Оценивание эффективности методом оболочечного анализа.

Метод позволяет оценить способность организации:

- использовать минимально возможную комбинацию ресурсов при заданном уровне выпуска и определить объем ресурсов, при котором организация становится эффективной (задача 3);
- достигать максимального объёма выпуска для имеющегося набора используемых ресурсов и определить объем выпусков, при котором организация становится эффективной (задача 4);
- сравнить эффективность организации за несколько периодов.

По заданному набору ресурсов $x_i = (x_{i1},\ldots,x_{ik})$ и выпусков $y_i = (y_{i1},\ldots,y_{ir})$ для N организаций решение задач 3–5 сводится к последовательному решению нескольких различных задач линейного программирования (ЛП).

Эмпирический анализ данных. Для проведения эмпирического анализа нами использовались наборы данных по двум группам организаций: 35 организаций аэрокосмической отрасли и

35 организаций нефтеперерабатывающей промышленности. В качестве основных факторов, неэффективности были выбраны: размер организации, объемы экспортных поставок, местонахождение, объем научных исследований и разработок.

Для моделей, построенных в Задачах 1–2, в соответствии с методикой, предложенной в [8], проверялись следующие гипотезы: 1) проверка соответствия данных виду производственной функции, 2) отсутствие факторов неэффективности $\delta_0 = \delta_1 = \cdots = \delta_m = 0$, 3) отсутствие стохастической неэффективности $\delta_u = 0$, 3) совместная незначимость переменных неэффективности $\delta_u = \delta_0 = \delta_1 = \cdots = \delta_m = 0$

Результаты проверки показали, что рассматриваемые факторы неэффективности оказывают воздействие на результирующую эффективность организаций. Существенную роль в повышении эффективности играют такие факторы как местонахождение предприятий и объемы экспортных поставок, объемы исследований и разработок не оказывают существенного влияния на эффективность компаний аэрокосмической отрасли, что может объясняться недостаточным финансированием и низким уровнем выполняемых разработок. Предприятия сектора нефтеперерабатывающей промышленности обладают более высокой технологической эффективностью, чем предприятия аэрокосмической отрасли.

Оба подхода, в целом, показали сходные результаты, что говорит о возможности их совместного применения, которое целесообразно во многих случаях, поскольку каждый из этих методов имеет свои ограничения и расширения области применения.

Заключение. Проведенные на реальных данных эксперименты по оценке технологической эффективности и выявлению значимых факторов ее повышения рассмотренными выше методами продемонстрировали их эффективность. В качестве направления дальнейших исследований мы считаем целесообразным расширить область выбора факторов неэффективности, включив в нее факторы внешней среды, такие как кризисы, катастрофы, климатические катаклизмы и пр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Koopmans T.C. An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities, in Koopmans, T. C. (Ed.) Activity Analysis of Production and Allocation, Proceeding of a Conference, , John Wiley and Sons Inc., London. 1951. P. 33-97.
2. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring of efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research.*. 1978. Vol. 2. №6. P. 429-444.
3. Coelli, T.J. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, *CEPA Working Paper 96/08, Department of Econometrics,* 1996. University of New England, Armidale.
4. Aigner D., Lovell C. A. K., Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier function models, *Journal of Econometrics*, 1977. Vol. 6. № 1, P. 21–37.
5. Meeusen W., van den Broeck J., Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error, *International Economic Review*. 1976. p. 435–444.
6. **Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю**. Моделирование производственного потенциала компании с учетом ее интеллектуального капитала / Препринт # WP/2011/281. ЦЭМИ РАН, 2011. 77 с.
7. **Афанасьев М.Ю**. Модель производственного потенциала с управляемыми факторами неэффективности. *Прикладная эконометрика*, 2006. Выпуск № 4.
8. Amornkitvikai, Y., Harvie, C., & Charoenrat, T. Estimating a Technical Inefficiency Effects Model for Thai Manufacturing and Exporting Enterprises (SMEs): A Stochastic Frontier (SFA) and Data Envelopment Analysis (DEA) Approach. *Proceedings of Informing Science & IT Education Conference* (InSITE) 2014, pp. 363-390/

E.A. Grebenyuk (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow)

Identification of Significant Factors for Improving the Efficiency of Organizations based on the Construction of the Production Possibility Frontier

The report is devoted to the issues of constructing an assessment of the effectiveness of organizations, defined as the distance to the Frontier of Production Opportunities (GPB) and identifying significant factors of its increase. Two main approaches to the construction of FGP are considered: DEA (Data Envelopment Analysis), which is well-known in the Russian-language literature as a method of enveloping data analysis and the method of stochastic frontier (Stochastic Frontier Analysis, SFA). By applying the developed analysis procedure for two groups of organizations from different production sectors (mechanical engineering and oil refining), 1) construction of empirical estimates of technological efficiency, 2) identification of factors contributing to the technological inefficiency of the organization, 3) comparison of methods efficiency and inefficiency factors for two groups of enterprises.

Ю. А. КАПИТОНОВ, В. А. БОРОДАВКИН
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург

ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗНООБРАЗНЫХ ФОРМ МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗОК В АВТОМОБИЛЬНОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Рассматривается задача маршрутизации транспорта в региональной транспортной сети. Метод решения – задача о потоке минимальной стоимости, метод генерации столбцов. В докладе для условий вырожденных случаев предлагается описание транспортной системы в виде ориентированных графов. Это позволяет получить разнообразные формы маршрутов, как это принято в транспортной логистике автомобильных перевозок.

Доставка товаров в региональных сетях является важной логистической задачей. Эта задача может решаться методом математического моделирования или как задача оптимизации маршрутов с целью минимизации общего пробега.

Задача маршрутизации транспорта VRP как задача математического программирования рассматривалась в очень большом числе научных работ западных специалистов. Часть полученных результатов обсуждается в работе [1]. Во многих обзорных работах приводится классификационная схема разновидностей задач маршрутизации и методы их решения. Задача имеет несколько формулировок. Основной формулировкой являлась формулировка о потоке минимальной стоимости с бинарными переменными. В работе [2] использована формулировка VRP как задачи разложения множеств. В работе [3] анализировалось применение метода генерации столбцов в задаче маршрутизации для региональной транспортной сети. Применение такого подхода позволяет последовательно решать задачи линейного программирования, что можно осуществить, привлекая на первом этапе некоммерческие решатели этих задач, входящие в состав офисного программного обеспечения. В результате работы [3] был исследован процесс сходимости к оптимальному решению, выявлена специфика – скачкообразный процесс, что объяснялось бинарным характером переменных задачи.

Однако в автомобильной региональной сети возможно некоторое разнообразие формы маршрутов, не только кольцевые, но и маятниковые маршруты. В этих маршрутах всего одна точка посещения и кольцевой маршрут становится вырожденным. Причинами возникновения маятниковых маршрутах могут быть ограничения по грузовместимости или небольшое количество клиентов при планировании рейсов. Аналогичная задача возникает и планировании пассажирских маршрутов городской транспортной сети [4], в которой для задания формы маршрута приходится использовать дополнительную информацию.

Предлагается рассматривать графы автомобильные дорог так, как они рассматриваются в теории транспортных потоков. Каждая дорога представляется двумя ориентированными графами с соответствующими направлениями, но без детализации ее пропускной способности. Пересечения дорог – в виде перекрестков с разрешенными направлениями движения. В этом случае в математической модели транспортной системы простейшим элементом будет путь до объекта с разворотом, включающий четыре направленных дуги – две дуги туда и обратно и две дуги – разворота в обратном направлении. Происходит имитация движения по автомобильной дороге. Движение к объекту по правой стороне дороге, возврат по левой стороне. Движение в противоположном направлении запрещено.

Каждый объект посещения в графе предлагается представлять набором вершин, имитирующим «углы перекрестка». Посещение любой из вершин, входящих в этот набор, оценивается как посещение объекта. Минимальное количество вершин для объекта – два. Объект с несколькими соединяющими дорогами описывается угловыми вершинами. Для обычного перекрестка – это четыре вершины.

Исходный граф транспортной системы G=(V,A), представим в виде $G=(V_1,..V_i,..V_n,A_1...,A_i,..A_n, A)$, где V_i – узлы ассоциированные с объектом i, A_i – дуги, ассоциированные с объектом (перекрестком), A – набор ориентированных дуг между объектами (перекрестками).

Для каждого объекта существует набор входящих и набор исходящих дуг. Математически условие посещения объекта записывается как посещение точки, принадлежащей соответствующему объекту [5].

Алгоритм решения задачи маршрутизации на основании ориентированного графа дорог будет частично модифицирован по сравнению с классическим алгоритмом.

1. Задание стартовых значений. Исследования на примерах показали, что число стартовых значений в мастер-задаче должно быть не меньше, чем число объектов посещения.

2. Мастер-задача (задача о покрытии множеств) и двойственная задачи выполняется обычным образом.

3. Координирующая задача выполняется в соответствии с неравенствами, которые индексируют посещенные узлы.

Запрещаются кольцевые движения по дорогам, соединяющим объекты посещения, и кольцевые движения на объектах (перекрестках). Минимальная мощность множества S=4.

По модифицированной методике рассчитывались численные примеры в программе Microsoft Excel. Расчеты показали:

1. Появилась возможность расчета маршрутов в одиночные вершины.

2. Рассчитанные маршруты могут существенно отличаться от классических кольцевых маршрутов. Возврат часто происходит по тем же дорогам до группы объектов, что и движение к группе объектов, что больше соответствует практике автомобильных перевозок.

3. При посещениях группы объектов предпочтительным оказывается движение с правыми поворотами на перекрестках.

4. Как недостаток в задаче существенно возрастает количество переменных за счет дуг, описывающих направление движения на перекрестках. Возрастает также количество ограничений.

5. На рассмотренных примерах время расчета мало изменилось. На время расчета в большей степени влияет организация массивов данных, что относится к внутренней составляющей программы оптимизации.

6. Формы получаемых маршрутов позволяют говорить о маятниковых и кольцевых маршрутах, а также об их различных комбинациях, как это принято в классической транспортной логистике при автомобильных перевозках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications (MOS-SIAM Series on Optimization) Editors: Toth, Vigo– 2015.
2. Desrochers M., Desrosiers J., Solomon M. New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows // Operations Research, Vol. 40, No. 2. (Mar. – Apr., 1992), pp. 342–354.
3. **Капитонов Ю.А. Бородавкин В.А**. Решение задачи маршрутизации в региональной транспортной сети методом генерации столбцов // Материалы XII Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2019): в 4 т., 2019. Издательство Южного федерального университета. Т3, стр. 134–137.
4. Borndoerfer B, Groetschel M., Pfetsch M A Column-Generation Approach to Line Planning in Public Transport TRANSPORTATION Science, Vol. 41, No. 1, February 2007, pp. 123–132.
5. **Алексеева Е.В**. Построение математических моделей целочисленного линейного программирования. Примеры и задачи: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т., Новосибирск, 2012. 131 с.

Yu.A. Kapitonov, V.A. Borodavkin (Baltic State Technical University “VOENMEH” named after D.F. Ustinov, St. Petersburg)

Planning of Various Forms of Transportation Routes in the Automotive Regional Transportation Network

The problem of transport routing in a regional transport network is considered. Solution Method – Minimum Cost Flow Problem, Column Generation Method. In the report for the conditions of degenerate cases, a description of the transport system in the form of directed graphs is proposed. This allows you to get various forms of routes, as is customary in the transport logistics of road transport.

А. Ф. ЗАДОРОЖНЫЙ
НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск

В. А. МЕЛЕНТЬЕВ
ИФП СО РАН, Новосибирск

О СОВМЕСТИМОСТИ ТОПОЛОГИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ И СИСТЕМ

Исследуются аспекты совместимости топологий параллельных вычислительных систем и задач, предложено и обосновано введение соответствующих показателей, базирующихся на оригинальной топологической модели параллельных вычислений и на нетрадиционном описании графа его проекциями. На примере гиперкубической вычислительной системы (ВС) и задач с кольцевой и звездной информационными топологиями продемонстрировано определение показателей и их использование в сопоставительном анализе применимости интерконнекта с заданной топологией для решения задач с произвольной информационной структурой.

Введение. Основанная на законе Амдала (Amdahl'sLaw) [1] модель позволяет оценить предельные ускорения решения задач, обладающих скалярностью (нераспараллеливаемостью) отдельных фрагментов. Однако, абстрагированность такой модели от информационной топологии задачи и от топологии интерконнекта системы препятствует получению цельной картины обусловленности параллелизма задачи от топологий системы и, следовательно, формализованной оптимизации архитектуры последней под классы решаемых задач. Предлагаемый доклад посвящен исследованию совместимости топологий параллельных систем и задач, введены соответствующие показатели, базирующиеся на оригинальной топологической модели параллельных вычислений [2–8] и на нетрадиционном описании графа проекциями [9–13].

1. Основные положения и понятие о совместимости топологий. Реальновременная реализация того или иного параллельного приложения на ВС может быть успешной, если: 1) быстродействие ее интерконнекта достаточно для того, чтобы задержки, вносимые обменными процессами между параллельными ветвями, не превышали задержек, допускаемых требованиями реального времени и 2) граф системы, дополненный ребрами, соответствующими предшествующему условию, содержит подграф, изоморфный информационному графу задачи с числом вершин (параллельных ветвей), соответствующим этому же условию.

Исследования системных и сетевых топологий основаны на графовом их представлении, когда между модулями системы и вершинами, а также между линиями связи и ребрами графа установлены биективные соответствия. Основной недостаток традиционно используемых матрично-списковых описаний заключается в том, что задаваемые такими описаниями отношения смежности/инцидентности вершин/ребер графов бинарны, тогда как обычно используемые для оценки качества структур маршруты и циклы представляют собой многоместные отношения на множестве вершин

В связи с этим, в используемой здесь топологической модели авторы допускают несмежные (опосредованные) соединения информационно смежных процессоров. Это позволяет увеличить степень графа системы и повысить возможности изоморфных вложений в него графов решаемых задач, причем соотношение между объемами вычислений W и информационных взаимодействий Q в параллельной (W, Q)-задаче и быстродействие используемой сетевой технологии определяют взаимозависимость порядка графа задачи и предельно допускаемого в графе системы расстояния между информационно смежными вершинами – достижимости ∂. Под топологической совместимостью задачи с числом параллельных ветвей p и ВС с числом процессоров $n>p$ мы понимаем возможность изоморфного вложения информационного графа задачи порядка p в трансформированный в соответствии с заданным значением достижимости ∂ граф системы таким образом, что вершины в нем смежны, если расстояние между ними в исходном графе ВС порядка n не превышает ∂.

2. Исследование совместимости на графовых моделях. Существенные свойства рассматриваемых здесь в качестве примера топологий задач – кольцевой (W_R) и звездной (W_Z), не требуют дополняющих их названия пояснений. Выбор задач с такими информационными топологиями, как и выбор в качестве топологии ВС гиперкуба, обусловлен, прежде всего, простотой и

наглядностью демонстрации предлагаемого в данной работе способа оценки совместимости топологически разнотипных параллельных задач и систем.

Любой гиперкуб H_s имеет гамильтонов цикл, проходящий через каждую вершину ровно один раз [14], и хотя он (гиперкуб) является бипанциклическим графом (содержит циклы только четной длины при n>3) [15], проблем с организацией цикла на единицу меньшего или большего полученного из модели [7] нечетного значения p, не должно возникать. Поэтому, независимо от размерности s гиперкубической ВС, вложение в нее задачи с кольцевой топологией может быть абсолютным даже при ∂=1. Это означает, что использование гиперкубических ВС не вносит никаких ограничений в распараллеливание задач с кольцевой топологией, и если таковые все же имеют место, то они обусловлены только недостаточным быстродействием используемой в ВС сетевой технологии.

В [16] получена обобщенная на любые размерности s и достижимости $\partial \le s$ гиперкуба $(H_s)_\partial$ формула потенциала параллелизма $p_Z(H_s)_\partial$:

$$p_Z(H_s)_\partial = \sum_{i=0}^{\partial} \binom{s}{i}.$$

Используя эту формулу, построим таблицу ∂-совместимости (0<∂<4) «звездной» задачи с s-мерной (1<s<9) гиперкубической ВС:

Таблица

s	2	3	4	5	6	7	8
$n = 2^s$	4	8	16	32	64	128	256
$p_Z(H_s)_1$, $C_Z(H_s)_1$	3, 0,75	4, 0,5	5, 0,3125	6, 0,1875	7, 0,1094	8, 0,0625	9, 0,0352
$p_Z(H_s)_2$, $C_Z(H_s)_2$	4, 1	7, 0,875	11, 0,6875	16, 0,5	22, 0,3438	29, 0,2266	37, 0,1445
$p_Z(H_s)_3$, $C_Z(H_s)_3$	4, 1	8, 1	15, 0,9375	26, 0,8125	42, 0,6563	64, 0,5	93, 0,3633

Здесь $p_Z(H_s)_\partial$ – показатель абсолютного параллелизма, а $C_Z(H_s)_\partial = p_Z(H_s)_\partial / n(H_s)$ – показатель относительного параллелизма звездной (W_Z) задачи на ВС, топология которой описывается гиперкубом H_s, а сетевая технология интерконнекта позволяет использовать для рассматриваемой W_Z-задачи несмежные соединения информационно-смежных процессоров, длина которых не превышает достижимости ∂.

Из приведенной выше таблицы нетрудно убедиться в том, что:

1. Увеличение быстродействие интерконнекта (и соответствующее этому увеличение предельной длины ∂ допускаемых соединений) приводит к существенному увеличению потенциала параллелизма и совместимости любых топологий ВС и решаемых на ней параллельных задач.

2. При увеличении размерности гиперкуба совместимость его с задачами со звездной топологией существенно падает, что вызвано весьма незначительным (в сравнении с увеличением числа n процессоров) повышением потенциала параллелизма.

Итак, на примере гиперкубической ВС и задач с кольцевой и звездной информационными топологиями в работе продемонстрировано определение показателей совместимости, исследованы топологические аспекты совместимости таких ВС и задач и продемонстрировано использование показателей совместимости в анализе применимости интерконнекта произвольной топологии для решения задач с заданной информационной топологией.

Заключение. Предложен показатель топологической совместимости вычислительных систем и решаемых на них параллельных задач. Показатель абстрагирован от технических характеристик используемого в ВС интерконнекта и позволяет оценить потенциальные возможности распараллеливания той или иной задачи, обусловленные только топологически.

Результаты данной работы будут полезны как разработчикам в сопоставлении параллельных систем и оптимизированного выбора их топологий, соответствующего заданному набору решаемых задач, так и исследователям в анализе потенциальных возможностей конкретных систем при решении на них параллельных задач с той или иной топологией.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Amdahl G.M.** Validity of the single processor approach to achieving large scale computing capabilities // Proceedings of the April 18-20, 1967, spring joint computer conference. 1967. С. 483-485.
2. **Melent'ev V.A.** Author's approach to the topological modeling of parallel computing systems //arXiv preprint arXiv:2003.10092. 2020.
3. **Melent'ev V.A**. About topological modeling of parallel systems and tasks // Materials of theInternationalConference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration», October 14, 2019. Part 2 (pp. 184-192).
4. **Мелентьев В.А.** Предельное распараллеливание в вычислительной системе с гиперкубической топологией при лимитировании длины межпроцессных соединений // Труды X Междунар. Конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO ’15, Москва 26-29 января 2015 г. С. 1182-1193.
5. **Мелентьев В.А.** Вложение подсистем, лимитирующих длину и число путей между вершинами графа вычислительной системы // УБС. 2014. № 47. С. 212-246.
6. **Мелентьев В.А.** Предельное конфигурирование подсистем в гиперкубических вычислительных системах //Информационные технологии и вычислительные системы. 2015. №. 2. С. 20-30.
7. **Мелентьев В.А.** О топологической масштабируемости вычислительных систем // УБС. 2015. №58. С 115–143.
8. **Мелентьев В.А.** О топологической отказоустойчивости масштабируемых вычислительных систем // УБС. 2017. №70. С. 58-86.
9. **Мелентьев В.А.** Скобочная форма описания графов и ее использование в структурных исследованиях живучих вычислительных систем // Автометрия. 2000. Т. 38. № 4. С. 36–52.
10. **Melent'ev V.A.** The bracket Pattern of a Graph // The 6th Intern. Conf. on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies, PRIA-6-2002. 2002. С. 57-61.
11. **Мелентьев В.А.** Формальные основы скобочных образов в теории графов //Труды 2-й Междунар. конф. Параллельные вычисления и задачи управления PACO – 2004. С. 694-706.
12. **Мелентьев В.А.** Проективное описание графа вычислительной системы и его минимизация // Материалы XIII Междунар. научно-техн. конф. "ИТ-технологии: развитие и приложения". 2012. С. 14-15.
13. **Мелентьев В.А.** Операции над проекциями графов и актуализация описаний отказоустойчивых систем //Вестник ТГУ. Приложение. 2006. №. 17. С. 208-213.
14. **Mills W.H.** Some complete cycles on the n-cube //Proceedings of the American Mathematical Society. 1963. Т. 14. №. 4. С. 640-643.
15. **Schmeichel E., Mitchem J.** Bipartite graphs with cycles of all even lengths //Journal of Graph Theory. 1982. Т. 6. №. 4. С. 429-439.
16. **Melent'ev V.A., Shubin V.I., Zadorozhny A.F.** Topological scalability of hypercubic parallel systems and tasks // ISJ Theoretical & Applied Science. 2015. Т. 11. №. 31. С. 122-129.

A. F. Zadorozhny (NGASU (Sibstrin), Novosibirsk), V. A. Melentyev (IPP SB RAS, Novosibirsk)

About Compatibility of Topologies of Parallel Problems and Systems

Aspects of compatibility of topologies of parallel computing systems and tasks are investigated, the introduction of the corresponding indicators based on the original topological model of parallel computing and on the non-traditional description of the graph by its projections is proposed and justified. Determination of indicators and their use in a comparative analysis of the applicability of an interconnect with a given topology for solving problems with an arbitrary information structure is demonstrated using the example of a hypercubic computing system (CS) and problems with ring and stellar information topologies.

Секция 3

■ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, BIG DATA И НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ■

А. П. АНТОНОВ, В. С. ЗАБОРОВСКИЙ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

В. А. ПОЛЯНСКИЙ
Институт Проблем Машиноведения, РАН, Санкт-Петербург

НЕЙРОВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ: АСПЕКТЫ ВЫЧИСЛИМОСТИ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ

Let's not argue – let's do the math.
J. L. Lagrange

Тезис футуролога А. Кларка о том, что «достаточно развитые технологии неотличимы от магии», актуален в настоящее время как никогда. Современная наука,в отличие от магии, хотя и опирается на логически непротиворечивые физические теории, формализмы математики и возможностивычислительной техники,не сделала мир менее загадочным, особенно в том, что касаетсяприродных феноменовсознания, мышления и интеллекта. С точки зрения компьютерных наук, отличительной особенностью этих явлений является их сетецентрическая нейроморфная организация и наличие ресурсов сложноорганизованной памяти – неказуального вычислительного механизма «транспортировки» во времени обрабатываемых данных, результатов вычислений и информационных взаимодействий. Формализация этих особенностей позволяет определить модель когнитивных процессовна многомерном множестве состояний, на которомне вводится строгое отношение временного прядка и числового равенства, поэтому для вычислений может одновременно использоваться контекстно значимая информация, как о прошлых, так и текущих или прогнозных состояний. Для систем управления, функционирующих в условиях неопределенности, предложена распределенная гетерогенная реконфигурируемая структура, реализующая технологию «вычисления в памяти» как для алгоритмов, отражающих причинно-следственные отношения, так и процессы обучения, требующие оперативной реконфигурации поля вычислений.

Введение. Доклад посвящен формализации описания когнитивного опыта в контексте задач управления на основе анализа свойств вычислимости когнитивных функций «ограниченной рациональности», представленных операцией свертки сигналов, полученных в разные моменты времени, у которых в качестве временного аргумента используется не строго упорядоченная «стрелой времени» последовательность прошлых, настоящий и будущих состояний, а трехмерное подпространство времени, целостность которого основана на неказуальном влиянии прогнозируемого «будущего» на решения, принимаемые в «настоящем». Аналогичный феномен, получивший название ретропричинности, был описан в квантовой физике [1, 2] на основе эффекта квантовой нелокальности, который имеет подчеркнуто информационный характер. Современные подходы к компьютерному моделированию функций сознания много лет развиваются в рамках направления известного как Computational theory of cognition [3, 4], суть которого в создании вычислительных машин, способных решать различные умственные задачи, такие как рассуждение, распознавание ситуаций, адаптация на основе обучения и т. д. Однако,

до сих пор даже относительно низкоуровневые естественные когнитивные процессы, например, такие как восприятие, значительно превосходят возможности современных компьютерных систем. Проблема, которая ограничивает возможности создания «умных компьютеров» носит фундаментальный характер и имеет в своей основе неопределенность обрабатываемых данных. Хорошо известные способы принятия решений в условиях неопределенности базируются на байесовском подходе – стандартной математической модели вывода, которая основана на понятии вероятности и строгой эквивалентности (равенстве) событий на основе их статистической характеризации. Вероятностный подход, однако, ограничивает возможности моделирования многихреалистичных сценариев, основанных на причинно-следственных (казуальных) моделях событиях. Очевидно, формализация когнитивных функций требует более тонких подходов, связывающих между собой идеи математики, компьютерных и нейронаук на основе использования различных отношений эквивалентности, которые отличаются количеством информации, используемой в процессе вычислений состояний процессов или объектов. Учитывая, что архитектура современных компьютеров разработана для моделирования физических процессов, имеющих казуальную природу и, поэтому, описываемых дифференциальными уравнениями. В результате компьютерное моделирование сводится, либо «цифровому» решению задачи Кошина основе априорно заданных алгоритмов и начальных условий, либо решениюзадачи на собственные значения. Сложность же компьютерного моделирования когнитивных процессов в том, что характерное для них несущее множество состояний не наделенострогим отношением временного порядка, отражающим их казуальную связанность, поэтому с точки зрения теории вычислений данные о прошлых, текущих и прогнозируемых будущих событияхдолжны быть одновременно доступны для алгоритмическойобработки. Обсуждаемые в докладе подходы базируются на методахтеории категорий, в которых множество обрабатываемыхсобытий характеризуется как набором метаданных, так и описанием способов сопоставления одного объекта рассматриваемой категории другому, включая дескрипторы, по которым объекты категории считаться эквивалентными. В докладе анализируется возможность использования категории топос [3] в качестве основы архитектуры гетерогенного реконфигурируемого компьютера, реализующего когнитивные функции с помощью алгоритмов вычислений, управляемых данными и учета временной связанностирезультатов вычислений относительно отношения их эквивалентности с данными, хранящимися в памяти.

Содержание. Описание любой системы как некоего «компьютера» настоятельно предполагает, что система программируема, т. е. реализует заданную последовательность команд обработки данных, суть которых вычисление некоторой функции, однозначно связывающей знаком равенства значения входных и выходных переменных. С этой особенностью связано понятие вычислимости, которое требует существование алгоритма, достигающего указанного выше точного равенства за конечно число шагов. Однако, при использовании цифрового представления данных точностьиз формального математического понятия «равенства» параметризуется и зависит от числа разрядов представления обрабатываемых чисел. Поэтому характеризация когнитивных функций с точки зрения теории программных автоматов позволяет при рассмотрении свойств вычислимости перейти с «неподвижных брусьях знака равенства» [4] на отношение эквивалентности, вводимое в рамках теории категорий.

Формулировка задачи. Хотя когнитивные функции сознания до сих пор не является физическим понятием, т. е. частью физических теорий, подобно силе, массе или электрическому заряду, но такую функцию можно представить как сигнал [3], объединяющий данные, различимые дескрипторами прошлое, настоящееи будущее. Фактически это значит, что информация в рамках когнитивного описания пространства событий может передаваться не только физическими сигналами, но и форме процесса, реализующего различные функции на основе памяти и предсказательных расчетов. При этом следует учесть фундаментальные ограничения теории алгоритмов – перечислимость, вычислимость и разрешимость множеств, а также следствия теорем Геделя, применимые к задачам моделирования когнитивных функций и совершенствования систем ИИ. Очевидно, что вместо прямого моделирования «электрофизиологических» процессов, наблюдаемых в головном мозгу, можно использовать и другие виды процессов организации памяти и вычислений, которые сочетают в себе с одной стороны цифровые и непрерывные, а с другой – детерминированные и вероятностные характеристики когнитивных процессов. Для этого определим когнитивную функцию в момент времени t, через атрибут,

которой определяет объем памяти, используемый для хранения информации о прошлых и прогнозируемых событиях. Такую функцию можно формально представить как «сигнал», подверженный свертки с функцией Дирака. Такой сенсорно-потоковый сигнал, отражает не только пространственно-временную связанность воспринимаемых событий, но и наделяет их определеннымиментальнымиатрибутами, позволяя вычислять на многомерном множестве обрабатываемых данных различные отношения эквивалентности. Вычислительная структура, реализующая поток исполнения (control flow) изпотока данных (data flow), является моделью исполнительного механизма вычислений, способного из описания событий получить представление когнитивного «сигнала», представлена на рисунке.

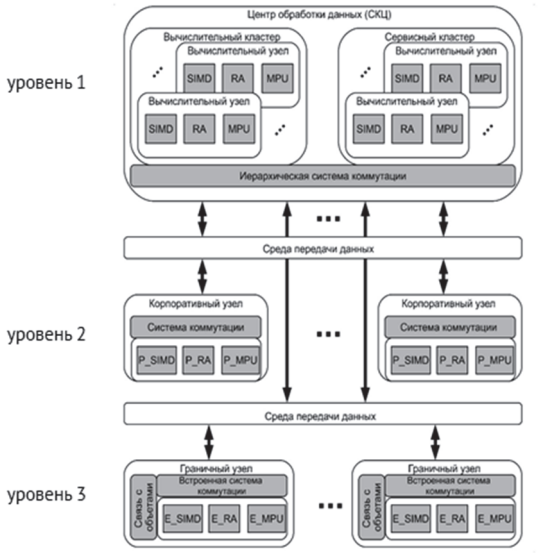


Рисунок. Архитектура гетерогенной вычислительной платформы моделирования когнитивных функций

На рисунке: Уровень 1 «system» – действие «Надо». Аналог неокортекса, реализация функции «социального поведения». Назначение – интерпретация результатов вычислений и решение «обратных» задач синтеза алгоритмов в режиме justintime или плану.

Уровень 2 «premises» – действие «Хочу». Аналог лимбической системы, реализация функции «инстинктивно/рефлексивного» поведения. Назначение – оптимизация спецификаций поля вычислений и форматов данных, «подготовка прошивок» для конфигурации ПЛИС, контроль адекватности цифровых моделей.

Уровень 3 «edge» – Сенсорная среда обработки данных. Назначение – доступ к «пространству» больших данных, доставляемых сенсорами и используемых для «извлечения» мультимодальных данных.

На всех уровнях платформы каждый из гетерогенных вычислительных узлов класса SIMD (ускорители), MPU (MIMD процессоры) и RA(ПЛИС) используют гиперконвергентные ресурсы памяти, сгруппированные в ассоциативную категорию данных, относящихся к прошлым, текущим и прогнозируемым значениям.

Заключение. С точки зрения нейрофизиологии когнитивные функции обрабатывает не только оперативную информацию, полученную от органов чувств, но и данные основанные на прошлом опыте и сохраненные в памяти, а также результаты прогноза последствий еще не реализованных управляющих воздействий. Поэтому в пространстве состояний когнитивных функций нет характерной для физических процессов линейной упорядоченности отсчетов времени событий, что наделяет это пространство нетривиальной топологий, котораянашла отражение в архитектуре предложенной платформы. Констеляция данных, основанная на различные отношения эквивалентности, хранящихся в памяти данных, информации, полученной по каналам связи и с помощью прогнозирования последствий реализованных «сейчас» действий, составляет основу предложенного подхода к компьютерному моделированию когнитивных функций. Конвергентная память, рассматриваемая как многомерный атрибут процессов

управления, позволяет моделировать два класса когнитивных процессов – казуально связанных событий, образующих причинно-временную последовательность, в которой прошлые события влияют на настоящее и будущее, а также событий, образующих семантически связанные структуры, в которых потенциальное возможное будущее влияет на управляющие воздействия, принимаемые в настоящий момент времени и изменяет интерпретацию прошлых событий с точки зрения достигнутых результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Miller P., 2018, An Introductory Course in Computational Neuroscience, Cambridge, MA: MIT Press.
2. Kriegesgorte K. and Douglas P., 2018, “Cognitive Computational Neuroscience”, Nature Neuroscience, 21: 1148–1160.
3. Kalyaev Igor &Antonov Alexander &Zaborovsky Vladimir. (2019). Architecture of Reconfigurable Heterogeneous Distributed Supercomputer System for Solving Problems of Intelligent Data Processing in the Era of Digital Transformation of the Economy. Voprosy kiber bezopasnosti. 2-11. 10.21681/2311-3456-2019-5-02-11.
4. Antonov A., Besedin D., and Filippov A., "Research of the Efficiency of High-Level Synthesis Tool for FPGA Based Hardware Implementation of Some Basic Algorithms for the Big Data Analysis and Management Tasks", in Proceedings of the FRUCT’26, pp. 23-29, April 2020.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ в рамках научно-исследовательского проекта №18-2903250 МК “Робастные методы синтеза интеллектуальных транспортных систем киберфизических объектов коалиции на основе Байесовской концепции вероятности и модальной логики".

A.P. Antonov, V.S. Zaborovsky, (Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg), V.A. Polyansky, (Institute for Problems in Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences, St.Petersburg)

Neural Calculations in Control Tasks: Aspects of Computability and Spatio-temporal Characterization of Cognitive Functions

The thesis of the futurologist A. Clark that “sufficiently developed technologies are indistinguishable from magic” is currently more relevant than ever. Modern science, in contrast to magic, although it relies on logically consistent physical theories, formalisms of mathematics and the possibilities of computing technology, has not made the world less mysterious, especially with regard to natural phenomena of consciousness, thinking and intellect. From the point of view of computer science, a distinctive feature of these phenomena is their network-centric neuromorphic organization and the availability of resources of complex memory – a non-casual computing mechanism for "transporting" the processed data in time, the results of calculations and information interactions. The formalization of these features makes it possible to define a model of cognitive processes on a multidimensional set of states, on which a strict relation between the time order and numerical equality is not introduced, therefore, contextually significant information, both about past and current or predicted states, can be simultaneously used for calculations. For control systems operating under uncertainty, a distributed heterogeneous reconfigurable structure is proposed that implements the technology of "computation in memory" both for algorithms reflecting cause-effect relationships and learning processes that require prompt reconfiguration of the computational field.

И. В. МИЛОСЕРДОВ, Д. И. МИЛОСЕРДОВ
Санкт–Петербургский институт информатики и автоматизации Российской Академии наук (СПИИРАН),
Санкт-Петербург

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ В НЕЙРОСЕТЕВЫХ СИСТЕМАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Рассмотрена проблема обеспечения устойчивого функционирования систем прогнозирования временных рядов, в основу которых положены потоковые рекуррентные нейронные сети с управляемыми элементами. Выведены механизмы, необходимые и достаточные для ее поддержания, предполагающие соблюдение баланса истории обучения и модификацию правила обучения синапсов, с целью установления равновесия между положительным и отрицательным потенциалом. Приводятся результаты экспериментов по оценке точности прогнозирования.

Введение. Для прогнозирования временных рядов применяются как нейронные сети прямого распространения [1], так и рекуррентные нейронные сети (РНС) [2, 3]. Известны гибридные решения, сочетающие различные нейросетевые архитектуры или комбинирующие нейросетевые и традиционные методы [4]. РНС позволяют производить более глубокую обработку информации, располагают механизмами ассоциативного вызова информации из своей памяти. К ним относятся и РНС с управляемыми элементами [5]. В отличие от аналогов, эти РНС могут наделяться различными пространственно-временными структурами, что повышает их потенциал для прогнозирования временных рядов.

В то же время, несмотря на известные преимущества, фундаментальный вопрос устойчивости функционирования нейронных сетей остается во многом не исследованным. Процесс обучения нейронной сети является итерационным, при этом сама сеть представляет собой динамическую систему с обратной связью. Архитектуры и методы обучения нейронных сетей достаточно разнообразны, что затрудняет синтезирование универсальных алгоритмов анализа устойчивости. В последнее время достаточно много работ посвящено освещению именно этого вопроса. В [6] рассматривается модель искусственной нейронной сети Хопфилда с немонотонными нелинейными связями. В [7] представлен метод анализа устойчивости систем обратной связи с нейросетевыми контроллерами. Для нейронных сетей Хопфилда в [8] получен критерий устойчивости Миттаг–Леффлера. Инерциальные нейронные сети исследованы в [9, 10]. Так, достаточные условия глобальной асимптотической устойчивости получены в [9], а условия экспоненциальной устойчивости в смысле Лагранжа в [10]. Достаточные условия устойчивости реакционно-диффузионных сетей Хопфилда рассмотрены в [11].

Доклад посвящен механизмам обеспечения устойчивости нейросетевых систем прогнозирования временных рядов, в основу которых положены РНС с управляемыми элементами. Эти системы применялись в [12, 13] и продемонстрировали преимущество над известными решениями, однако в силу отсутствия механизмов контроля устойчивости функционирования в работе таких систем требовалось участие оператора.

Задачей исследования является разработка механизмов обеспечения устойчивости РНС с управляемыми элементами и оценка их эффективности при осуществлении нейросетевого прогнозирования.

1. Архитектура программной системы нейросетевого прогнозирования. Архитектура программной системы, реализующей метод нейросетевого прогнозирования временных рядов, показана на рис. 1. Ее особенность в том, что в ее состав входят две идентичные двухслойные РНС с управляемыми элементами. Согласно методу, временные ряды преобразуются в последовательности совокупностей единичных образов (СЕО), за что отвечает блок предобработки.

Затем СЕО поступают в первую РНС и продвигаются вдоль слоев от входа к выходу, в результате чего на синапсах первой РНС формируется пространственно-временная модель. Когда необходимо получить прогноз, по команде с блока управления состояние первой РНС копируется во вторую РНС. Пока первая РНС продолжает обучаться, на второй РНС в параллельном режиме запускается обработка скопированных СЕО. Внутреннее время второй РНС многократно ускоряется, а также усиливается ассоциативный вызов сигналов в направлении входа. При этом на слоях второй РНС формируются новые СЕО, несущие прогнозные значения. После

снятия СЕО с выхода второй РНС они раскодируются в блоке постобработки. Функции блока управления реализованы в модулях чтения-записи параметров, кнопочных панелях и модулях визуализации состояний слоев РНС.

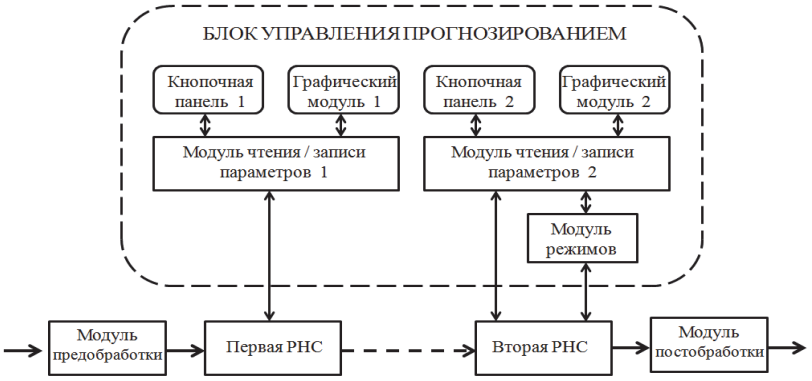


Рис. 1. Архитектура программной системы нейросетевого прогнозирования

2. Механизмы обеспечения устойчивости

2.1. Критерий устойчивости. Под устойчивостью нейросетевой системы прогнозирования временных рядов будем понимать такое состояние входящих в ее состав РНС с управляемыми элементами, при котором суммарный вес $w_{sum}(t)$ всех ее синапсов находится в пределе $[-W, +W]$, где W – некоторый положительный коэффициент:

$$w_{sum}(t) = \Sigma_{i=1}^{N} \Sigma_{j=1}^{N} w_{ij}(t) \in [-W, +W]. \quad (1)$$

Здесь веса $w_{ij}(t)$ синапсов зависят от весовых коэффициентов $k_{ij}(t)$, определяющих проводимость синапсов РНС. В свою очередь, $k_{ij}(t)$ определяется выражением

$$k_{ij}(t)=(1+\exp(-\gamma \cdot g_{ij}(t)))/(1+\exp(-\gamma \cdot g_{ij}(t)))=\text{th}(\gamma \cdot g_{ij}(t)/2), \quad (2)$$

$$g_{ij}(t)=g_{ij}(t-\Delta t)+ \Delta g_{ij}(t), \quad (3)$$

где: $g_{ij}(t)$, $g_{ij}(t-\Delta t)$ – предыстория на моменты времени t и Δt соответственно; $g_{ij}(0)=0$; γ – некоторый положительный коэффициент. Величина $\Delta g_{ij}(t)$ определяется в зависимости от состояний i-го и j-го нейронов. Если i-й нейрон излучил сигнал и после этого возбудился j-й нейрон, то $\Delta g_{ij}(t)$ – положительная величина g^+. Если возбуждение j-го нейрона произошло без сигнала i-м нейрона, то $\Delta g_{ij}(t)$ отрицательно (g^-). В остальных случаях $\Delta g_{ij}(t)=0$.

2.2. Механизм контроля баланса истории обучения. Из уравнений (1) – (3) видно, что стабильность РНС зависит в первую очередь от величин $g_{ij}(t)$, на основе которых рассчитываются весовые коэффициенты. На каждом шаге функционирования РНС, согласно правилу обучения, имеется определенное количество синапсов, для которых $\Delta g_{ij}(t) = g^+$, и синапсов, для которых $\Delta g_{ij}(t) = g^-$. Первым условием устойчивости является соблюдение баланса суммарной истории обучения. Для этого введем уравнение баланса:

$$S^+(t) \cdot g^+(t) - S^-(t) \cdot g^-(t) = V, \quad (4)$$

где: V – некоторая постоянная величина (например, 0); $S^+(t)$ и $S^-(t)$ – количества синапсов, для которых $\Delta g_{ij}(t) = g^+(t)$ и $\Delta g_{ij}(t) = g^-(t)$ соответственно.

Далее синапсы, веса которых < 0, условно будем называть «тормозящими», а синапсы с положительным весом – «возбуждающими».

2.3. Модифицированное правило обучения РНС. Зависимость $k_{ij}(t)$ от $g_{ij}(t)$ нелинейная, ввиду чего баланс суммарной истории обучения недостаточен для обеспечения устойчивости РНС. Дополнительным требованием является баланс «возбуждающего» и «тормозящего» потенциала синапсов. Иными словами, на каждом такте обучения РНС необходимо, чтобы количество синапсов, вес которых в соответствии с правилом обучения снизился, равнялось количеству синапсов с возросшим весом. В то же время, текущее правило обучения не отвечает этому требованию, поскольку количество «возбуждающих» и «тормозящих» синапсов зависит от соотношения возбужденных и ожидающих нейронов, которое может меняться с течением времени. Одним из путей уравнивания количества «возбуждающих» и «тормозящих» синапсов

является модификация правила обучения. По сравнению с изначальным правилом, предлагается уменьшать вес *ij*-го синапса, если *i*-й нейрон находился в состоянии рефрактерности, а в следующий момент времени возбудился *j*-й нейрон. При этом количество тактов рефрактерности нейронов подбирается таким образом, чтобы количество возбужденных нейронов в слое равнялось количеству активных.

Рис. 2. Состояние первого слоя второго РНС при прогнозировании транспортных потоков

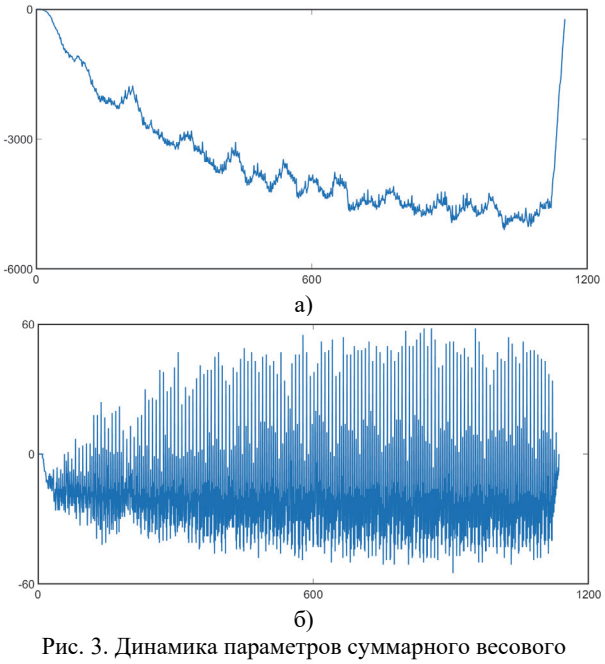


Рис. 3. Динамика параметров суммарного весового коэффициента при обучении РНС без (а) и с (б) использованием механизмов контроля устойчивости

3. Эксперименты. Предложенные решения исследовались на примере прогнозирования городского дорожного трафика в г. Санкт-Петербург. Для этого была сконфигурирована РНС размером 5×6 логических полей, каждое из которых имело размер 4×8 нейронов (рис. 2). Глубина прогнозов составляла 12 дней, а горизонт – 2 дня при интервале 3 часа.

Первая серия экспериментов проводилась без привлечения механизмов контроля устойчивости. На рис. 3 показана динамика суммарного веса РНС. По горизонтальной оси графиков отложены такты работы РНС, по вертикальной – значения соответствующих параметров. Из графиков видно, что суммарный весовой коэффициент заметно уходит в отрицательную область значений. Это обуславливается превалированием количества «тормозящих» синапсов над «возбуждающими» (на рис. 2 в среднем в одном логическом поле возбуждены лишь 4 из 32 нейронов).

Вторая серия проводилась с привлечением механизмов контроля устойчивости. Рис. 3*б* демонстрирует аналогичный график для этой ситуации. Видно, что суммарный вес находится на постоянном уровне, а колебания суммарного веса не выходят за пределы -60...+60 (против -5000...0 в предыдущей серии).

Согласно результатам экспериментов, механизмы контроля устойчивости позволили снизить ошибку MAE на 13.8 %, MAPE – на 10.5 %, RMSE – на 10.0 %, что свидетельствует об эффективности предложенных решений.

Заключение. Рассматриваемая РНС с управляемыми элементами обладает более гибкой структурой за счет расширения возможностей по маршрутизации сигналов и взаимосвязей элементов. Наращивание управляемости сети обуславливает необходимость слежения за ее устойчивостью в процессе обучения, для чего были разработаны критерий устойчивости и механизмы ее контроля. На числовых примерах, отображающих суммарный вес нейронной сети во время обучения, показано, что предложенные механизмы отвечают необходимым требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice, 2nd ed. *Melbourne, Australia.* 2018.
2. Polson N.G., Sokolov V.O. Deep learning for short-term traffic flow prediction. *Transportation research Part C 79*. 2017. P. 1–17. http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2017.02.024
3. Fernandez-Navarro M., Cruz M.A., Gutierrez P.A., Castano A., Hervas-Martınez C. Time series forecasting by recurrent product unit neural networks. *Neural Comput & Applic.* 2018. P. 29:779–791. https://doi.org/10.1007/s00521-016-2494-2
4. Goudarzi S., Kama M.N., Anisi M.H., Soleymani S.A., Doctor F. Self-organizing traffic flow prediction with an optimized deep belief network for Internet of vehicles. *Sensors*. 2018. Vol.18. P. 3459. doi:10.3390/s18103459

5. Osipov V., Osipova M. Space–time signal binding in recurrent neural networks with controlled elements. *Neurocomputing*. 2018. Vol. 308. P. 194–204. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.05.009
6. Wang H., Wei G., Wen S., Huang T. Generalized norm for existence, uniqueness and stability of Hopfield neural networks with discrete and distributed delays. *Comparative Study Neural Netw.* 2020. P. 667–675.
7. Yin H., Seiler P., Arcak M. Stability Analysis using Quadratic Constraints for Systems with Neural Network Controllers. *Electrical Engineering and Systems Science*. 2020.
8. Wang F., Liu X., Tang M., Chen L. Further results on stability and synchronization of fractional-order Hopfield neural networks. *Neurocomputing*. 2019. Vol. 346. P. 12–19. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.08.089
9. Cui N., Jiang H., Hu C., Abdurahman A. Global asymptotic and robust stability of inertial neural networks with proportional delays. *Neurocomputing*. 2018. Vol. 272. P. 326–333. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.07.001
10. Lu S., Gao Y. Exponential stability in Lagrange sense for inertial neural networks with time-varying delays. *Neurocomputing.* 2019. Vol. 333. P. 41–52. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.12.063
11. Liu P., Cao G. Employing the Friedrichs' inequality to ensure global exponential stability of delayed reaction-diffusion neural networks with nonlinear boundary conditions. *Neurocomputing.* 2020. Vol. 383. P. 81–94. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.11.091
12. Osipov V., Miloserdov D. Neural network forecasting of traffic congestion. *Digital Transformation and Global Society. Springer, Cham,* 2020. Vol. 1038. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37858-5_20
13. Osipov V., Zhukova N., Miloserdov D. Neural Network Associative Forecasting of Demand for Goods. *Experimental Economics and Machine Learning*. *Perm,* 2019. Vol. 2479.

I.V. Miloserdov, D.I. Miloserdov (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), St. Petersburg)

Development of Mechanisms for Stability Ensuring in Neural Network Forecasting Systems

The problem of ensuring the stable functioning of time series forecasting systems based on stream recurrent neural networks with controlled elements is considered. The mechanisms necessary and sufficient for its maintenance are derived, assuming the balance of the learning history and modification of the synapses learning rule, in order to establish a balance between positive and negative potential. The results of experiments to assess the accuracy of forecasting are presented.

Б. М. НОВИКОВ, Д. М. КИВАРИН, М. Г. ПАНТЕЛЕЕВ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

РАСПОЗНАВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ АГЕНТОВ В ВИРТУАЛЬНОМ ФУТБОЛЕ

Доклад посвящен методу распознавания действий, исполняемых агентами в среде виртуального футбола. Представленный в статье алгоритм позволяет определить тип действия агента (пас, ведение, удар по воротам), и уточнить его характеристики (адресата удара, координату назначения и время его выполнения). Представленные в работе результаты могут найти применение в составе архитектуры агента-футболиста как важный этап анализа состояния среды перед принятием решения о дальнейших действиях.

Введение. Соревнования по виртуальному футболу между командами интеллектуальных агентов, проводимые в рамках международного чемпионата RoboCup [1], помогают исследователям в разработке и тестировании различных решений в одной из наиболее востребованных в настоящее время областей искусственного интеллекта – области многоагентных систем.

Учитывая командную специфику рассматриваемой среды виртуального футбола, организация грамотного взаимодействия игроков на поле является одной из важнейших задач, и решить ее необходимо для достижения основной цели агентов, заключающейся в победе их команды в футбольном матче. Для того, чтобы организовать эффективное взаимодействие агентов между собой необходимо учитывать дополнительные ограничения, накладываемые средой. Так, действие матча происходит в реальном времени, что ограничивает время, доступное агенту на анализ состояния окружающей среды и время на принятие решений относительно его дальнейших действий. Стоит также принять во внимание то, что агенты действуют в противостоящих друг другу командах, а их восприятие среды ограничено и подвержено дополнительному случайному искажению со стороны сервера.

Рассматриваемые методы и алгоритмы определения действий в ходе футбольного матча являются частью подхода к построению архитектуры интеллектуального агента на основе опережающего итеративного планирования в реальном времени [2]. В рамках данного подхода определение действий используется агентами при планировании дальнейшей поведения, а именно для прогнозирования возможных состояний среды на момент окончания выполнения их текущего действия. Обладая данными о намерениях союзников и оппонентов на текущий момент времени, агент может осуществить анализ сложившейся ситуации на поле игры, оценить свои возможные дальнейшие действия, и как результат наиболее эффективным образом скоординировать свою дальнейшую деятельность в соответствии с текущей командной тактикой, а также своевременно выработать и предпринять меры для предотвращения нежелательных действий со стороны команды оппонентов.

Исследования в направлении решения задачи взаимодействия агентов в среде виртуального футбола ведутся уже на протяжении долгого времени. Так, в работе [3] был предложен подход, подразумевающий наделение одного агента ролью «тренера», который бы и занимался оценкой состояния среды и дальнейшей организацией общего командного взаимодействия игроков. В работах [4], [5] и [6] упор делается на получении преимущества за счет предсказания дальнейших действий оппонентов. В данных работах представлены различные методы по определению моделей поведения игроков команды соперника, на основании которых команда должна была выстраивать свою тактику. Однако все представленные подходы нацелены на получения глобальной стратегической картины на поле игры, когда как предложенные алгоритмы определения действий помогают агенту оценить и спрогнозировать дальнейший ход игры со своей индивидуальной позиции.

Описание разработки алгоритма. Разрабатываемый алгоритм нацелен на распознавание действий с мячом других агентов. Решение данной задачи является критически важным для дальнейшего планирования действий, так как положение мяча, во многом, влияет на состояние игры и предпринимаемую к такому состоянию игры тактику целой команды.

Были выделены следующие действия с мячом, как наиболее важные: пас, удар по воротам, ведение, вывод мяча за пределы поля. Для распознавания этих действий необходимо выделить признаки этих действий, которые позволят однозначно их определить. К примеру, назначение

паса заключается в передаче мяча другому игроку из той же команды, поэтому важным признаком данного действия является адресат удара. Однозначно определив адресата удара как товарища по команде, можно говорить, что совершено действие «пас». Описание действий и выделенные признаки приведены в таблице.

Таблица

Признаки действий

Действие	Назначение	Признак
Пас	Передача мяча товарищу по команде	**Адресатом** удара является игрок из той же команды
Ведение	Сохранение мяча под контролем при движении	**Адресатом** удара является игрок, сделавший удар
Удар по воротам	Взятие игрового очка	**Позиция мяча** находится за линией ворот
Вывод мяча за пределы поля	Намеренный вывод мяча за пределы поля	**Позиция мяча** находится за пределами игрового поля, но не за линией ворот

Таким образом, важнейшими признаками являются: адресат удара и позиция мяча.

Если второй признак является легко наблюдаемым и требует только прогнозирования движения мяча, а также проверку его расположения на предмет выхода за пределы поля, то первый признак подразумевает прогнозирование движения игроков, что является менее тривиальной задачей.

Прогнозирование движения мяча производится на основе известных параметров направления и скорости движения мяча. Так как движение мяча в рассматриваемой среде является дискретным, для прогнозирования его положения подходит следующая формула:

$$P_{t+1} = P_t + V_t \times ball_{decay} \quad (1)$$

где P_t – положение игрока в момент времени t; t – момент времени; V_t – скорость в момент времени t; $ball_{decay}$ – коэффициент замедления движения мяча [7].

Для прогнозирования движения игрока требуется домыслить за него ряд действий с целью достижения мяча, причем это должно быть сделано, допуская наилучший относительно него вариант поведения. К примеру, оппонент должен прикладывать максимальные усилия для достижения мяча и выбирать оптимальный путь к нему. Данный процесс должен быть выполнен с учетом положения, скорости и направления рассматриваемого игрока в текущий момент времени.

По причине того, что такого типа проверка является избыточной и затратной по времени, если ее применять ко всем игрокам на поле, необходимо ограничить множество возможных адресатов более слабым, но менее затратным по ресурсам признаком. Положим, что направление тела игрока совпадает с направлением движения к мячу, а также его скорость является максимальной, как будто игрок уже движется с максимальным усилием к рассматриваемой точке получения мяча. Тогда, условием проверки будет сравнение расстояния от игрока до этой точки с расстоянием, которое мог бы пройти игрок за время движения мяча к текущему моменту прогнозирования его движения (2).

$$L = V_{max} \times t \quad (2)$$

где L – расстояние, которое игрок пройдет на максимальной скорости V_{max} за время t; V_{max} – максимальная скорость движения игрока; t – время движения

На втором этапе проверки должны быть рассмотрены те игроки, которые прошли первый. Их время достижения рассматриваемой точки должно быть вычислено согласно оптимальной модели поведения. Алгоритм поведения представлен на рисунке.

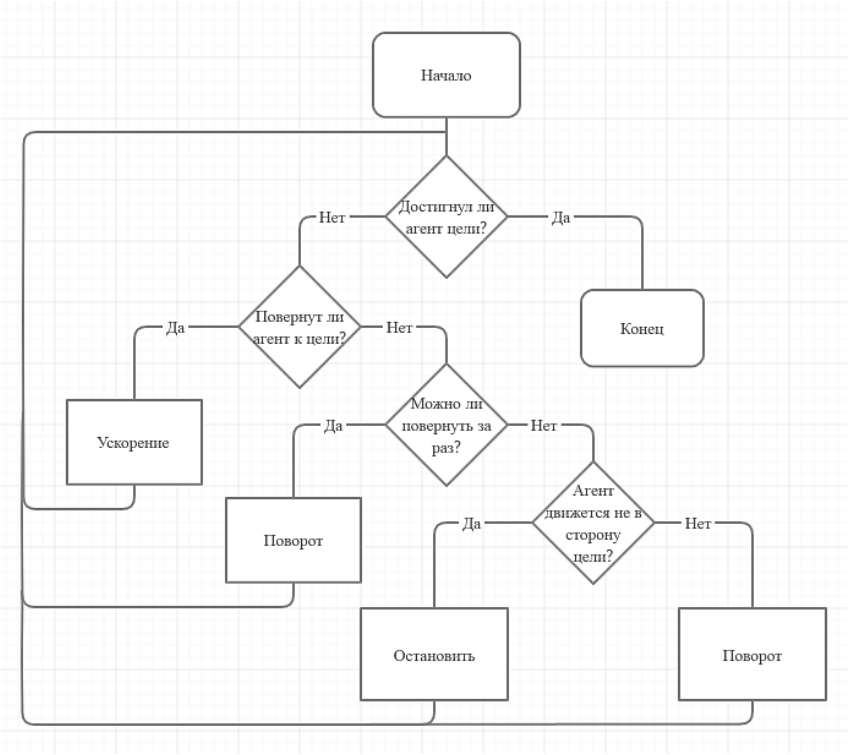


Рисунок. Блок-схема алгоритма поведения агента в процессе достижения точки

В процессе прогнозирования движения игрок будет совершать повороты и ускорение движения. Для их расчета потребуются следующие формулы: формула изменения положения игрока при прямолинейном максимально-ускоренном движении (3), формула нахождения угла поворота с учетом текущих направления и скорости игрока (4) [8].

$$P_t = P_0 + V_0 + \sum_{n=1}^{t}(V_0 * d^n + a_{max} \times \sum_{m=0}^{n-1} d^m) \quad (3)$$

где P_t – положение игрока в момент времени t; $t > 0$ – момент времени; V_0 – начальная скорость движения игрока; d - коэффициент замедления движения игрока [7]; a_{max} – максимальное ускорение движения игрока.

$$\varphi_{act} = \varphi_{turn}/(1 + i \times v) \quad (4)$$

где φ_{act} – угол поворота; φ_{turn} – угол, на который агент пытается сделать поворот; i – момент инерции [9]; v – текущая скорость агента.

Каждое исполнение команды затрачивает один такт игрового времени. Если общее затраченное время не превышает времени, за которое мяч оказался в этой точке, то игрок будет считаться потенциальным адресатом, а адресат, в свою очередь, тот игрок, которому понадобится меньше времени, чем другим потенциальным адресатам, для достижения мяча.

Заключение. В ходе исследования был представлен алгоритм распознавания действий агентов в виртуальном футболе. В качестве действий были выбраны: пас, ведение, удар по воротам и вывод мяча за пределы поля. В основе алгоритма лежит прогнозирование движения мяча и игроков. Для прогнозирования движения игроков был предложен возможный алгоритм их действий для получения контроля над мячом. Данный алгоритм может найти применение на практике в качестве одного из этапов анализа агентом среды с целью последующего планирования действий.

ЛИТЕРАТУРА

1. RoboCup. The Robot World Cup Initiative. Robocup officiale site. Available at: http://www.robocup.org
2. Пантелеев М.Г. Формальная модель опережающего интерактивного планирования действий интеллектуальных агентов реального времени // Труды 14-ой Нац. Конф. по ИИ с международным участием КИИ-2014. Т 1. Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. С. 323–333.
3. Coaching a Soccer Simulation Team in RoboCup Environment. J. Habibi, E. Chiniforooshan [et al]. Proceedings of the fifth international conference on Autonomous agents. 2001. P. 155–156, doi: 10.1007/3-540-36087-5_14.

4. Classifying Efficiently the Behavior of a Soccer Team. J. Iglesias, A. Ledezma [et al]. Intelligent Autonomous Systems 10. IAS-10, Chapter: Classifying Efficiently the Behavior of a Soccer Team – 2008. P. 316–323, doi: 10.3233/978-1-58603-887-8-316.
5. Steffens T. Feature-Based Declarative Opponent-Modelling. RoboCup 2003: Robot Soccer World Cup VII – 2003. P. 125–136, doi: 10.1007/978-3-540-25940-4_11.
6. Predicting Opponent Actions by Observation. A. Ledezma, R. Aler [et al]. RoboCup 2004: Robot Soccer World Cup VIII–2004. P. 286–296, doi: 10.1007/978-3-540-32256-6_23.
7. Chen M, Dorer K. RoboCup Soccer Server. 2003. 150 p.
8. de Boer R., Kok J. The Incremental Development of a Synthetic Multi-Agent System: The UvA Trilearn 2001 Robotic Soccer Simulation Team. University of Amsterdam. 2002. P. 217.

B.M. Novikov, D.M. Kivarin, M.G. Panteleev (ETU “LETI”, Saint-Petersburg)

Agent Action Recognition in Virtual Football

The report is dedicated to the method of recognizing actions performed by agents in the virtual football environment. The algorithm presented in the article allows agent to determine the type of agent action (pass, dribble, goal kick), and specify its characteristics (the target of the strike, the destination coordinate and the time of its execution). The results presented in this paper can be applied as part of the architecture of the agent-player as an important stage of analyzing the state of the environment before making a decision on further actions.

С. В. ВЛАСЕНКО
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН СЕМАНТИЧЕСКИХ ЗАПРОСОВ В СРЕДЕ ПЛАТФОРМ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ И «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ»

В докладе рассматривается комплексная задача построения многофункциональных интеллектуальных надстроек, ориентированных на применение в среде платформ цифровых производств и «интернета вещей». Основным предметом анализа являются виртуальные машины семантических запросов, входящие в состав ядра исполнительной системы подобных надстроек. Акцент при этом делается на рассмотрении функциональных возможностей, свойств и особенностей данных виртуальных машин, а также на используемых в них базовых классах моделей и выразительных средствах как декларативного, так и процедурного вида.

Введение. Устойчивый и динамичный рост объемов внедрений разнообразных цифровых платформ «умных» предприятий и производств, платформ «Интернета вещей» (IoT – Internet of Things) и промышленного «Интернета вещей» (IIoT – Industrial Internet of Things), а также постоянное усиление требований к уровню их «интеллектуализации» порождают целый ряд качественно новых комплексных проблем технологического плана. Одной из подобных проблем является создание многофункциональных интеллектуальных надстроек для платформ рассматриваемых классов (далее – цифровых платформ), которые обладали бы свойствами тиражируемых программных средств и выполняли бы функции интеллектуального управления процессами обработки данных и знаний (как на фазе проектирования, так и на фазе эксплуатации целевых систем), эффективно адаптируясь к специфике конкретной цифровой платформы и предметной области внедрения. Возможные подходы к решению указанной проблемы рассматривались, в частности, в [1, 2], где предлагалось использовать при построении интеллектуальных надстроек анализируемого профиля специализированные семантические метамодели (системы и предметной области) на базе аппарата концептуальных графов, а также соответствующую общую архитектуру единой программной среды «цифровая платформа + интеллектуальная надстройка». Тематика настоящего доклада связана с развитием описанных подходов в части определения и анализа функциональных характеристик виртуальной машины семантических запросов, являющейся одним из базовых компонентов ядра для предлагаемого вида интеллектуальных надстроек цифровых платформ.

Функциональные характеристики виртуальных машин семантических запросов для интеллектуальных надстроек цифровых платформ. Исследуемая в рамках доклада общая постановка задачи может быть кратко сформулирована следующим образом. Рассматривается абстрактная цифровая платформа (произвольного назначения), построенная на основе IoT/IIoT-инфраструктуре общего вида, отвечающей ряду типовых требований по архитектуре и базовой функциональности ([3–5]). К числу таких требований относятся:

- наличие слоев AEP (Application Enablement Platform – платформа обеспечения работы приложений) и ADP (Application Development Platform – платформа разработки приложений);
- наличие базовой системы управления интегрированным хранилищем данных – DSMS (Data Storage Management System);
- поддержка профилей CMP (Connectivity Management Platform – платформа управления коммуникациями), NM (Network, Data & Subscriber Management – управление сетями, данными и абонентами) и DMP (Device Management Platform – платформа управления устройствами/ «вещами»);
- и ряд других.

Для данной абстрактной цифровой платформы формируется интеллектуальная надстройка (рассматриваемая как тиражируемое решение, адаптируемое к специфике самой платформы и конкретного целевого приложения), к основным функциям которой относятся:

- поддержка работы с семантическими метамоделями, интегрирующими в единый базис модели целевой системы, цифровой платформы и предметной области внедрения, а также компоненты единого хранилища данных (обобщенная структура данных метамоделей предложена в [6]);
- поддержка построения и обработки моделей знаний различного назначения (включая «исполнение» моделей процедурного типа);
- поддержка функций интеллектуального проектирования и моделирования целевой системы (включая построение моделей по принципу «plug and play», использование проектных аналогов и шаблонов проектирования, автоматического конфигурирования программного окружения моделей и т. п.);
- интеллектуальный выбор (или построение) сценариев решения функциональных задач на основании знаний о предметной области, целевой системе и цифровой платформе;
- поддержка механизма семантических запросов к единому хранилищу данных и знаний платформы.

Архитектура интегрированного решения вида «цифровая платформа + интеллектуальная надстройка» принимается в виде, предложенном в [1] и [2].

При описанных выше условиях рассматривается задача создания виртуальной машины обработки семантических запросов, способной поддержать исполнение соответствующих функций в составе интеллектуальной надстройки цифровой платформы и обладающей высоким уровнем универсальности. При этом непосредственно обсуждаемым в докладе аспектом данной задачи является определение функциональных характеристик подобной виртуальной машины, а также методов и средств ее реализации.

В качестве отправной точки при решении поставленной задачи принимается ориентация на использование (в качестве базового класса моделей знаний) аппарата концептуальных графов (КГ), регламентируемого стандартом для так называемой «общей логики» (Common Logic – CL) ISO/IEC 24707:2007 (Information technology — Common Logic (CL): a framework for a family of logic-based languages). Развернутое описание возможностей данного аппарата приведено, в частности, в [7, 8]. В [1] и [2] отмечались некоторые важные (в контексте исследуемых проблем формирования интеллектуальных надстроек цифровых платформ) преимущества данного аппарата перед аппаратом онтологических моделей и соответствующими выразительными средствами представления знаний (языками семейств OWL и RDF/RDFS). Применительно к тематике настоящего доклада среди них представляется необходимым особо выделить следующие:

1) КГ способны описывать как декларативные, так и процедурные знания, а также выступать в роли единой формы представления практически любых наиболее распространенных классов моделей знаний и данных;

2) для описания КГ имеются регламентируемые выше упомянутым стандартом CL выразительные средства (языки CGIF и CLIF, XML-производный язык XCL, графическая нотация DF);

3) в стандарте «общей логики» описан аппарат формальной логической интерпретации, что позволяет строить математически корректные машины «исполнения» КГ.

Уместно также заметить, что все языки онтологий, регламентированные в рамках Semantic Web (включая OWL-2 и все его диалекты), являются семантическими подмножествами языков CL.

В совокупности анализ системных свойств аппарата КГ, а также свойств предлагаемого в [3] модельного базиса «интеллектуализированных» цифровых платформ приводит к ряду выводов, имеющих непосредственное отношение к рассматриваемой задаче построения виртуальной машины семантических запросов исследуемого профиля:

- нотации КГ (включая CGIF и CLIF) в рамках поставленной задачи могут быть приняты не только в качестве средства описания моделей знаний, но и в качестве средства описания семантических запросов к интеллектуальной надстройке цифровой платформы. При этом помимо синтаксической составляющей запрос получит и регламентированную структурную интерпретацию (в виде соответствующего «КГ-запроса»), что позволит существенно упростить программную реализацию широкого множества поисковых и трансформационных операций при обработке запросов. Кроме того, в отличие от случая применения онтологических моделей, приводящего на практике к преимущественному разделению инструментальных средств описания знаний, запросов, правил и процедур обработки знаний (например, на базе OWL, SPARQL, SWRL и т. п.) в данном случае от-

крывается возможность использования единого инструмента – виртуальной машины КГ. При реализации указанной машины в докладе предлагается использовать механизм так называемых «специальных контекстов» и «акторов» в КГ для внесения ряда необходимых расширенных интерпретаций, необходимых для корректного «исполнения» соответствующих КГ-моделей;

- в случае принятия предлагаемого подхода задача создания гибкого механизма семантических запросов в среде «цифровая платформа + интеллектуальная надстройка + целевая система» вырождается и приводит лишь к необходимости поддержки особого случая «исполнения» КГ, представляющих собой «КГ-запросы», в среде универсальной виртуальной машины КГ.

В технологическом плане унификация процессов «исполнения» КГ открывает и возможности для гибкого управления работой виртуальной машины КГ с разделением задач трансляции (при формировании моделей знаний требуемого вида) и прямой интерпретации (например, в случае обработки семантических запросов или выполнении процедурных компонентов моделей) используемых КГ-нотаций (в контексте доклада в качестве базовой нотации предлагается применение языка CGIF).

Заключение. Таким образом, на основании приведенного в докладе материала можно заключить, что ранее предложенная в [1] и [2] архитектура комплекса «цифровая платформа + интеллектуальная надстройка + целевая система» может быть упрощена путем включения функций виртуальной машины семантических запросов в состав функций унифицированной виртуальной машины КГ при условии соответствующей модернизации механизма интерпретации КГ-моделей и принятия необходимых расширений предопределенного синтаксиса описания специальных контекстов и акторов в нотациях на языке CGIF. В докладе приводится также детализированная характеристика основных преобразований КГ, сопутствующих исполнению семантических запросов базовых классов – «запрос → результирующий КГ», «запрос → исполнение процедурного КГ» и (как общий случай) «запрос → трансляция/интерпретация CGIF-нотаций».

ЛИТЕРАТУРА

1. Vlasenko S., Efimenko G., Gnezdilov D., Brikova O. Approaches to Conceptual Graphs Notations Using in Digital Manufacturing Software Environments. // Proceedings. 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (2019 ElConRus) p. 731-735. 10.1109/EIConRus.2019.8656842.
2. **Власенко С.В.** Формирование модельного базиса интеллектуальных платформ цифровых производств с использованием аппарата концептуальных графов // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2019. № 1. С. 44-51.
3. **Pethuru Raj, Anupama C. Raman**. The Internet of Things: Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases. Auerbach Publications, Boca Raton, FL, USA, 2017. 364 p.
4. **Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M., Aldehari M., Ayyash M.** "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Volume 17, Issue 4, 2015.
5. Foundational Elements of an IoT Solution by Joe Biron and Jonathan Follett Copyright. 2016 O'Reilly Media. ISBN: 9781492042655.
6. **Власенко С.В**. Структуры семантических метамоделей цифровых производств на базе концептуальных графов // III Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2019). Сборник докладов. СПб., Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. Т. 1. С. 16-19.
7. **John F. Sowa**, Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations, Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA USA, 2000. 594 p.
8. **Michel Chein, Marie-Laure Mugnier**. Graph-based Knowledge Representation - Computational Foundations of Conceptual Graphs. Advanced Information and Knowledge Processing, Springer 2009, ISBN 978-1-84800-285-2, pp. 1-427.

S.V. Vlasenko (Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg)

Functional Characteristics of Virtual Semantic Query Engines in Environment of Digital Manufacturing and Internet of Things Platforms

The report deals with the complex task of building multi-functional intelligent add-ons aimed at application in the environment of digital manufacturing and Internet of things platforms. The main subject of analysis is virtual semantic query engines that are part of the core of the executive system of such add-ons. The emphasis is placed on considering the functionality, properties, and features of these virtual engines, as well as on the base classes of models used in them, and on both declarative and procedural expressions.

Д. И. КОНАРЕВ, А. А. ГУЛАМОВ
Юго-Западный государственный университет, Курск

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОБУЧЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПУТЁМ ТОНКОЙ НАСТРОЙКИ

В работе рассмотрены методы повышения точности работы предварительно обученных сетей. Сети построены и дообучены с использованием библиотек машинного обучения Keras и TensorFlow. Описана тонкая настройка (Fine Tuning) предварительно обученных свёрточных искусственных нейронных сетей для задач распознавания образов. Проведена тонкая настройка сетей VGG16 и VGG19 из модуля Keras Applications. Точность работы сети VGG16 при тонкой настройке последнего свёрточного блока возросла с 94.38 % до 95,21 %, что составляет прирост всего на 0,83 %. Точность работы сети VGG19 при тонкой настройке последнего свёрточного блока возросла с 92,97 % до 96,39 %, что составляет 3,42 %.

Введение. Исходя из цели разработки методов и системы программно-технических средств сбора, обработки, хранения, анализа параметров судоходных каналов, обеспечения навигации грузо- и пассажироперевозок в рамках информационно- телекоммуникационной системы мониторинга и управления судоходными каналами [1, 2, 3] одной из основных задач является распознавание судов на изображении или видео. Эффективность применения нейронных сетей для решения этой задачи была показана в [4].

Постановка задачи. В работе [5] была рассмотрена технология переноса обучения. Тонкая настройка (Fine Tuning) – следующий шаг, с помощью которого можно повысить точность работы предварительно обученной сети. Если на этапе дообучения изменяется только новая часть, классификатор, то на этапе тонкой настройки дообучается и свёрточная часть тоже. За счет этого происходит более точное выделение характерных признаки тех объектов, которые входят в набор данных новой задачи [6]. Тонкую настройку можно применять только после того, как обучен классификатор на новом наборе данных.

Реализация, предложенная в статье. В работе [5] использовались предварительно обученные сети из библиотеки Keras Applications. На примере сети VGG16 был продемонстрирован процесс заморозки свёрточной части сети и дообучение созданного классификатора на новом наборе данных. В составной сети около 2 миллионов параметров, находящихся в полносвязанных слоях классификатора. Была получена точность 94.38 %.

На этапе тонкой настройки необходимо разморозить несколько слоев или целых блоков нейронной сети. Выбранное количество слоев или блоков, которые необходимо разморозить и дообучить, зависит от того, насколько сильно новый набор данных отличается от набора данных на котором производилось предварительное обучение нейронной сети [7]. Набор данных ImageNet, на котором обучались сети из библиотеки Keras Applications, включает изображения морских судов. Поэтому новый набор данных слабо отличается от набора данных ImageNet и можно обучать небольшое количество слоев. Для обучения будет разморожен последний блок предварительно обученных сетей. На примере сети VGG16 последний блок предварительно обученной части выделен на рис. 1.

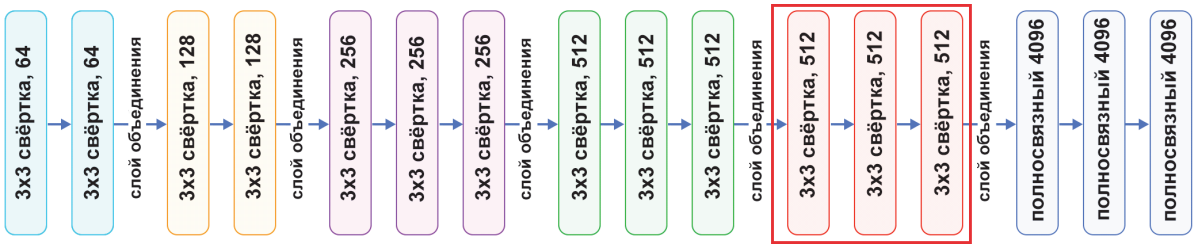


Рис. 1. Архитектура сети VGG16

На рис. 2 представлена информация о сети, где указан перечень слоев и количество весов нейронов в них. Название слоев состоят из двух частей, первая часть – это название блока,

вторая – тип и номер слоя в блоке. Должны быть разморожены слои с префиксом «block5» в имени.

```
vgg16_net.summary()
```

```
Model: "vgg16"
_________________________________________________________________
Layer (type)                 Output Shape              Param #
=================================================================
input_1 (InputLayer)         [(None, 150, 150, 3)]     0
_________________________________________________________________
block1_conv1 (Conv2D)        (None, 150, 150, 64)      1792
_________________________________________________________________
block1_conv2 (Conv2D)        (None, 150, 150, 64)      36928
_________________________________________________________________
block1_pool (MaxPooling2D)   (None, 75, 75, 64)        0
_________________________________________________________________
block2_conv1 (Conv2D)        (None, 75, 75, 128)       73856
_________________________________________________________________
block2_conv2 (Conv2D)        (None, 75, 75, 128)       147584
_________________________________________________________________
block2_pool (MaxPooling2D)   (None, 37, 37, 128)       0
_________________________________________________________________
block3_conv1 (Conv2D)        (None, 37, 37, 256)       295168
_________________________________________________________________
block3_conv2 (Conv2D)        (None, 37, 37, 256)       590080
_________________________________________________________________
block3_conv3 (Conv2D)        (None, 37, 37, 256)       590080
_________________________________________________________________
block3_pool (MaxPooling2D)   (None, 18, 18, 256)       0
_________________________________________________________________
block4_conv1 (Conv2D)        (None, 18, 18, 512)       1180160
_________________________________________________________________
block4_conv2 (Conv2D)        (None, 18, 18, 512)       2359808
_________________________________________________________________
block4_conv3 (Conv2D)        (None, 18, 18, 512)       2359808
_________________________________________________________________
block4_pool (MaxPooling2D)   (None, 9, 9, 512)         0
_________________________________________________________________
block5_conv1 (Conv2D)        (None, 9, 9, 512)         2359808
_________________________________________________________________
block5_conv2 (Conv2D)        (None, 9, 9, 512)         2359808
_________________________________________________________________
block5_conv3 (Conv2D)        (None, 9, 9, 512)         2359808
_________________________________________________________________
block5_pool (MaxPooling2D)   (None, 4, 4, 512)         0
=================================================================
Total params: 14,714,688
Trainable params: 0
Non-trainable params: 14,714,688
```

Рис. 2. Информация о загруженной сети VGG16

Во-первых, необходимо разрешить обучение на уровне сети. Для этого поле trainable устанавливается в значение True. Затем создаётся флаг trainable, который изначально установлен в значение False и означает, обучается тот или иной слой или нет. Перебором слоёв сети находится первый слой пятого блока с именем «block5_conv». Для этого и всех последующих слоёв параметр trainable устанавливается в значение True (рис. 3).

```
vgg16_net.trainable = True
trainable = False
for layer in vgg16_net.layers:
    if layer.name == 'block5_conv1':
        trainable = True
    layer.trainable = trainable
```

Рис. 3. Разморозка последнего блока сети VGG16

После этого сеть необходимо перекомпилировать. Так как сеть уже предварительно обучена, необходимо использовать малый параметр скорости обучения, чтобы не потерять результаты предварительного обучения [8]. Параметр скорости обучения lr (learning rate) указывается при создании оптимизатора. В данном случае используется оптимизатор Adam (рис. 4)

```
model.compile(loss='binary_crossentropy',
              optimizer=Adam(lr=1e-5),
              metrics=['accuracy'])
```

Рис. 4. Перекомпиляция сети с малой скоростью обучения

Скомпилированная сеть обучается так же, как обучался классификатор составной сети. Для тонкой настройки сети, как правило, не требуется большое количество эпох. В данном случае используется две эпохи. После завершения обучения качество работы сети проверяется на тех данных, которые не использовались в процессе обучения.

Точность работы сети на тестовых данных составляет 95,21 % и выросла по сравнению с сетью без тонкой настройки на 0,83 %. Небольшой прирост объясняется тем, что новый набор данных не сильно отличается от набора данных ImageNet и свёрточная часть нейронной сети VGG16 уже хорошо выделяет характерные признаки морских судов. Если бы набор данных содержал объекты, которые не входят в исходный набор данных для обучения, то эффективность тонкой настройки сети на таком наборе данных была бы значительно выше. Аналогично проведена тонкая настройка Сети VGG19 и точность работы составила 96,39 %, что больше, чем у VGG16. Хотя точность VGG19 до тонкой настройки была меньше, чем у VGG16 и составляла 92,97 %, то есть выросла на 3,42 %.

Обсуждение результатов и заключение. Было рассмотрено использование предварительно обученных нейронных сетей для классификации объектов на изображении и метод повышения точности их работы. На первом этапе, при переносе обучения из предварительно обученной нейронной сети удаляется часть, отвечающая за классификацию объектов, и добавляется новая часть, которая обеспечивает классификацию объектов в поставленной задаче. После обучения нового классификатора следует этап тонкой настройки, при котором обучается как классификатор, так и свёрточная часть. Это позволяет нейронной сети лучше определять характерные особенности объектов на новом наборе данных. Эффективность тонкой настройки зависит от того, насколько сильно отличаются наборы данных и наиболее эффективна в случае, если новый набор данных содержит объекты, которых не было в наборе данных для предварительного обучения. Так тонкая настройка сети VGG16 показала прирост точности 0,83 %, а тонкая настройка сети VGG19 – прирост точности 3,42 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гольцова И.А., Гуламов А.А**. Информационное обеспечение участка железной дороги // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 2(23). С. 6–11. https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/archiv/2_2017.pdf
2. **Маклаков Е.С., Гуламов А.А**. Узел сбора информации диспетчерского центра // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 136-142. https://doi.org/ 10.21869/2223-1560-2018-22-6-136-142.
3. **Маклаков Е.С., Гуламов А.А**. Оптимизация «последних миль» до удаленных узлов доступа путем применения технологии LCAS // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал, Том 7, № 3, 2019. http://moit.vivt.ru/. https://doi.org/ 10.26102/2310-6018/2019.26.3.039.
4. **Конарев Д.И**. Синтез архитектуры нейронной сети для распознавания образов морских судов / Д.И. Конарев, А.А. Гуламов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. Т. 24, № 1.
5. **Конарев Д.И., Гуламов А.А., Маклаков Е.С**. Синтез архитектуры нейронной сети для распознавания образов морских судов на базе предварительно обученной нейронной сети // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. В печати.
6. **Bastiaan Sjardin, Luca Massaron, Alberto Boschetti** Large Scale Machine Learning with Python, Packt Publishing, 2016. 420 p.
7. Weiss K., Khoshgoftaar T.M., Wang D. A Survey of Transfer Learning // Journal of Big Data. 2016. Vol. 3, No. 1. P. 1-9. DOI: 10.1186/s40537-016-0043-6
8. Russakovsky O., Deng J., Su H., et al. “ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge.” // International Journal of Computer Vision (IJCV). Vol 115, Issue 3, 2015, pp. 211–252

D.I. Konarev, A.A. Gulamov (Southwest State University, Kursk)

Increasing the Accuracy of Pre-trained Neural Networks by Fine Adjustments

The paper discusses methods for improving the accuracy of pretrained networks. The networks were built and retrained using the Keras and TensorFlow machine learning libraries. The fine tuning of pretrained convolutional artificial neural networks for pattern recognition tasks is described. Fine-tuned VGG16 and VGG19 networks from the Keras Applications module. The accuracy of the VGG16 network with fine tuning of the last convolutional block increased from 94.38 % to 95.21 %, which is an increase of only 0.83 %. The accuracy of the VGG19 network when fine-tuning the last convolutional block has increased from 92.97 % to 96.39 %, which is 3.42 %.

В. А. СОБОЛЕВСКИЙ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Санкт-Петербург

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ СЕРВИСОВ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В данном докладе представлены исследования, связанные с созданием программного комплекса, реализующего автоматизированную генерацию программ-сервисов для систем искусственного интеллекта на базе искусственных нейронных сетей. Сгенерированные сервисы адаптированы для использования в программных комплексах, реализующих сервис-ориентированный подход и концепцию интернета вещей.

Введение. В современных отраслях науки и техники всё шире применяются системы искусственного интеллекта на базе искусственных нейронных сетей (ИНС). Однако на данный момент для применения данных технологий требуется участие профильных специалистов, которые должны не только создать подобную систему, но и интегрировать её в существующие программные комплексы. С другой стороны, всё большую популярность приобретают сервис-ориентированная архитектура (СОА) и концепция интернета вещей (ИВ), для организации крупных распределённых программных комплексов. При этом программы на базе ИНС часто являются вспомогательными, в рамках подобных крупных программных комплексов. Актуальной становится задача не просто интеграции программ на базе ИНС, а реализация их как автономных сервисов, для использования в рамках СОА и концепции ИВ. Предлагаемый доклад посвящён программе, реализующей автоматизированную генерацию программных оболочек для систем на базе ИНС, для их последующей интеграции в программные комплексы, спроектированные на базе СОА.

Состояние исследований. Несмотря на то, что на данный момент программные комплексы на базе ИНС используются преимущественно для решения специфических задач [1–3], всё чаще их начинают применять для более рутинных задач. Одним из ограничений распространения подобных программ всё ещё остаётся необходимость в привлечение к разработке специалистов в области искусственного интеллекта. Именно для автоматизации решения простых типовых задач и предлагается применять разрабатываемый комплекс. В настоящее время уже существует ряд разработок, призванных автоматизировать и упростить процесс создания программных комплексов на базе ИНС [4–6]. Их наличие показывает актуальность данной задачи, а результаты демонстрируют перспективность подобного подхода. Программный комплекс, представляемый в данном докладе, делает акцент на автоматизацию процесса генерации программных оболочек и интеграцию разработанных ИНС различных архитектур в крупные программные комплексы. Существующие на данный момент решения имеют более узкое применение или используются только для ИНС специфической архитектуры (к примеру, для свёрточных нейронных сетей).

Используемые технологии. СОА подразумевает модульный подход к разработке программного приложения [7]. Данный подход базируется на принципах прозрачности и масштабируемости, что позволяет расширять функциональность программного продукта не модификацией уже существующих модулей, а добавлением новых сервисов. Поэтому, для следования заданной СОА парадигме, требуется, что бы генерируемые программные сервисы имели типовой программный или веб-интерфейс и использовали распространённые протоколы обмена данными. В разрабатываемом программном комплексе генерируется автономный сервис, содержащий заданную пользователем ИНС, обученную для решения конкретной задачи. Сервис состоит из самой ИНС, а также программных оболочек, реализующих интерфейс REST и SOAP [8–10]. Данный сервис кроссплатформенный и может быть без предварительной установки и настройки дополнительного программного обеспечения запущен на ряде операционных систем (что возможно благодаря кроссплатформенности языка реализации данных модулей – python [11]). А реализация нескольких программных оболочек позволяет обращаться к ИНС как к сервису, через наиболее распространённые веб-интерфейсы. При этом, созданную ИНС всё ещё можно использовать как простую программную библиотеку, обращаясь к ней через соответ-

ствующие программные интерфейсы. Так же, сгенерированные программным комплексом сервисы не обязательно должны быть установлены на одном и том же компьютеры. Они могут быть распределены между различными компьютерами или же располагаться в облачных хранилищах. Соответственно, подобные сервисы могут быть использованы в системах поддерживающих как парадигму СОА, так и концепцию ИВ. При этом сам программный комплекс внутри себя так же построен по принципам СОА. Это является необходимым требованием, учитывая, что коммерческое использование программного комплекса потребует больших вычислительных ресурсов. Наиболее простым и удобным в таких условиях будет именно распределённый подход к архитектуре программного комплекса. Дополнительным достоинством СОА является и то, что добавлять новую функциональность к разрабатываемой программе, можно быстро и удобно, без модификации существующего программного кода. В связи с этим, разрабатываемый программный комплекс постоянно растёт, расширяясь как архитектурами ИНС, с которыми он может работать, так и веб-интерфейсами, которые могут поддерживать генерируемые сервисы.

Апробация. Разработанный программный комплекс к настоящему времени уже использовалась для генерации сервисов на базе простых глубоких нейронных сетей, которые были внедрены в сторонние программные продукты для решения конкретных прикладных задач [12–13]. Разнородность решаемых задач демонстрирует относительную универсальность предлагаемого программного комплекса. На рисунке представлена схема программного комплекса «ПРОСТОР» [13], предназначенного для прогнозирования и мониторинга уровня воды в реках. В рамках данного программного комплекса была использована ИНС для прогнозирования уровня воды. Сама ИНС и её обёртка были реализованы с помощью представленного в докладе программного комплекса. Представленная на рисунке схема демонстрирует пример реализации концепции СОА и интеграции программно-сгенерированного сервиса на базе ИНС.

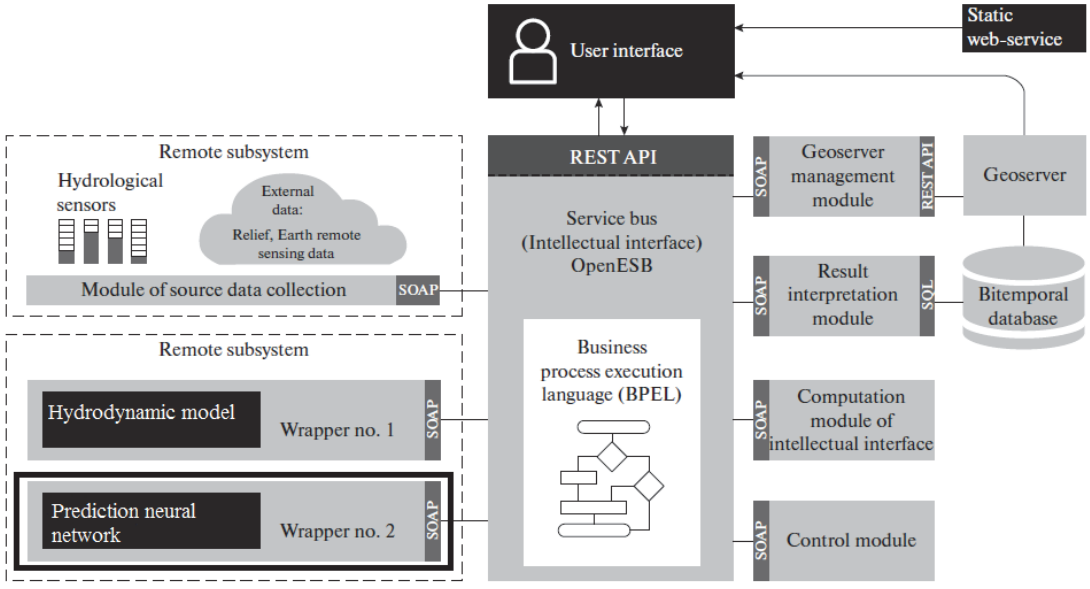


Рисунок. Схема программного комплекса «ПРОСТОР»

Заключение. На данный момент программный комплекс находится на стадии прототипа и используется при разработке ряда сторонних приложений. Для начала полноценной эксплуатации требуется, прежде всего, доработка пользовательского интерфейса приложения. Поскольку на этапе прототипирования продукт используется специалистами в машинном обучении, и поэтому текущий интерфейс не адаптирован для использования обычными пользователями. Из-за этого, на данный момент, не решается одна из основных поставленных перед программным комплексом задач – доступность для широкой аудитории пользователей. Так же, из-за высоких требований к производительности при функционировании данного программного продукта, для коммерческого использования требуется перенос программного комплекса на высокопроизводительные сервера. Специфика вычислений, при обучении ИНС, накладывает ряд требований

на аппаратную часть, а коммерческое использование подразумевает параллельное обучение нескольких моделей, что может существенно нагрузить систему. Несмотря на заложенную в архитектуру программного комплекса параллельность вычислений, требуется провести дополнительные исследования и стресс-тесты, чтобы определить конкретные требования к аппаратной части. Сам программный комплекс так же продолжает расширяться новыми архитектурами искусственных нейронных сетей, для которых могут быть сформированы сервисные оболочки. На данный момент уже реализована и проходит тестирование возможность работы со свёрточными нейронными сетями.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-37-90112 и бюджетной темы 0073- 2019-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ateeq-ur-Rauf, Ghumman A.R., Ahmad S., Hashmi H.N. Performance assessment of artificial neural networks and support vector regression models for stream flow prediction. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2018. V. 190, issue 12, article № 704.
2. Alizadeh Z., Yazdi J., Kim J.H., Al-Shamiri A.K. Assessment of machine learning techniques for monthly flow prediction. *Water (Switzerland).* 2018. V. 10, issue 11, article № 1676.
3. Lantrip J., Griffin M., Aly A. Results of near-term forecasting of surface water supplies. *In: World Water Congress 2005: Impacts of Global Climate Change - Proceedings of the 2005 World Water and Environmental Resources Congress. Anchorage, Alaska, US.* 2005. Pp. 436. Doi: 10.1061/40792(173)447.
4. Geng Z., Wang Y. Automated design of convolutional neural network with multi-scale filtres for cost-efficient seismic data classification. *Nature Communications.* 2020. V. 11, Issue 1.
5. Witsuba M., Rawat A., Pedapati T. Automation of deep learning. *Proceedings of the 2020 International Conference on Multimedia Retrieval, ICMR 2020.* 2020. P. 5-6.
6. Baker B., Gupta O., Nail N., Raskar R. Designing neural network architectures using reinforcement learning. *5th International Conference on Learning Representations, ICLR 2017.* 2017.
7. **Bell M.** Introduction to Service-Oriented Modeling, in Service-Oriented Modeling^ Service Analysis, Design and Architecture. Wiley & Sons, 2008, pp. 390. ISBN 978-0-470-14111-3.
8. Mesmoudi Y., Lamnaour M., Khamlichi Y.E.L., Tahiri A., Touhafi A., Braeken A. Design and implementation of a smart gateway for IoT applications using heterogeneous smart objects. *4th International Conference on Cloud Computing Technologies and Applications, Cloudtech.* 2018.
9. **Hanes D.** IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things. USA: Cisco Press, 2017, pp. 576.
10. **Erl T.** Service-Oriented Architecture: Analysis and Design for Services and Microservices (2nd Edition). USA: Prentice Hall, 2016, pp. 416.
11. **John V. Guttag** Introduction to Computation and Programming Using Python: With Application to Understanding Data (2nd Edition). USA: MIT Press, 2016, pp. 472. ISBN 978-0-262-52962-4.
12. Mikhailov V., Specivtsev A., Sobolevsky V., Kartashev N. Multi-Model Estimation of the Dynamics of Plant Community Phytomass. *The 13th IEEE International Conference Application of Information and Communication Technologies (AICT).* 2019. P. 324-328.
13. Zelentsov V.A., Alabyan A.M., Krylenko I.N., Pimanov I.Yu., Ponomarenko M.R., Potryasaev S.A., Semenov A.E., Sobolevskii V.A., Sokolov B.V., Yusupov R.M. A Model-Oriented System for Operational Forecasting of River Floods. *Herald of the Russian Academy of Sciences.* 2019. Volume 89, Issue 4. P. 405-417. DOI: 10.1134/S1019331619040130.

V.A. Sobolevskii (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

Software Complex for Automated Generation of Services Based on Artificial Neural Networks

This report presents research related to the creation of a software package that implements the automated generation of service programs for artificial intelligence systems based on artificial neural networks. The generated services are adapted for use in software systems that implement a service-oriented approach and the concept of the Internet of Things.

В. С. БЫКОВА, Л. А. МАРТЫНОВА, А. И. МАШОШИН, И. В. ПАШКЕВИЧ
АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", Санкт-Петербург

АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ НЕОБИТАЕМЫМ ПОДВОДНЫМ АППАРАТОМ

Описана версия алгоритмов функционирования системы управления автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА), разработанных авторами. Алгоритмы базируются на мультиагентной структуре системы управления АНПА. Их отличие от известных алгоритмов заключается в принципах, заложенных в их основу и направленных на обеспечение универсальности алгоритмов, позволяющей использовать их в системах управления АНПА различного назначения.

Введение. Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) являются перспективным средством исследования и освоения Мирового океана [1–4].

Наиболее актуально применение АНПА в районах, покрытых льдом, а также на больших глубинах, недоступных для подводных лодок.

Вместе с тем, поскольку АНПА являются автономно действующими подводными роботами, их создание сопряжено с решением значительного количества научно-технических проблем. При этом одной из ключевых проблем является создание эффективной системы управления, назначением которой является максимально точное выполнение маршрутного задания, загруженного в её память до начала миссии. Маршрутное задание представляет собой разработанный человеком-оператором набор формализованных инструкций, привязанных ко времени и географическим координатам, точное и своевременное выполнение которых позволит достичь цели миссии [20].

Выполнение АНПА маршрутного задания под управлением системы управления больших трудностей не вызывало бы, если бы не препятствующие обстоятельства. Опыт применения АНПА показывает, что эти обстоятельства сопутствуют практически каждой миссии. И обусловлены они как внешними, так и внутренними факторами. К внешним факторам относятся:

- отклонение АНПА от заданного маршрута, обусловленное влиянием внешних факторов и ошибками навигации;
- появление подводных объектов, столкновение с которыми нужно избежать;
- обнаружение неподвижных препятствий (подводных хребтов и др.), не нанесённых на навигационную карту, которые нужно обойти;
- непредвиденное изменение скорости и/или направления течения, вызывающие необходимость изменять параметры движения АНПА;
- изменение границ ледового покрова, что препятствует всплытию для обсервации в назначенное время.

Большинство из перечисленных факторов приводит к дополнительным временным затратам и дополнительному расходу запаса электроэнергии и, в конечном счёте, к необходимости корректировки маршрутного задания.

Ситуация ещё более усложняется в условиях преднамеренного противодействия выполнению миссии, что имеет место при применении АНПА в специальных операциях.

Внутренними факторами, препятствующими выполнению маршрутного задания, являются неустранимые неисправности аппаратной части АНПА и не восстанавливаемые сбои программного обеспечения, что также приводит к необходимости корректировки маршрутного задания, а в ряде случаев и к прекращению миссии.

Парирование перечисленных негативных факторов является нетривиальной задачей даже для человека, поскольку для принятия в сложившейся ситуации эффективного решения, обеспечивающего достижение цели миссии, нужно учесть как возникшие негативные факторы, так и ограничения по запасу электроэнергии, скорости хода, точности автономной навигации, дальности гидроакустической связи. Для решения этой задачи система управления АНПА должна реализовывать сложные адаптивные алгоритмы, базирующиеся на технологиях искусственного интеллекта. И здесь возникает ещё одна проблема. Формализованных методик синтеза подобных алгоритмов на сегодняшний день не существует. Есть только общие рекоменда-

ции по принципам их построения. Такие алгоритмы во многом являются эвристическими, что переносит трудности с их разработки на их практическую отработку, а это противоречит сложившейся практике создания сложной техники.

Система управления АНПА относится к системам управления наивысшей сложности, что обусловлено необходимостью управлять в реальном времени большим количеством разнородных технических средств и при этом функционировать в полностью автоматическом режиме в непрерывно изменяющейся внешней зачастую агрессивной среде при ограниченных возможностях автономной подводной навигации и связи с пунктом управления.

Подходам к созданию системы управления АНПА посвящено большое число публикаций как в России [5–20], так и за рубежом [21–39] и по мере развития подводной робототехники поток этих публикаций постоянно нарастает.

Известно [22, 40, 41], что построить такую систему управления как централизованную (мультиобъектную), в которой система управления управляет всеми действиями всех технических средств АНПА, ввиду высокой сложности весьма затруднительно.

Для построения системы управления АНПА в наибольшей степени подходит децентрализованная мультиагентная структура.

При такой структуре каждая система АНПА является самостоятельным независимым интеллектуальным агентом с собственной системой управления. Управление движением АНПА и выполнением других функций осуществляется путём взаимодействия на основе равноправного общения всех систем-агентов. Система управления в такой структуре выступает в роли диспетчера, организующего выполнение маршрутного задания [20, 22].

Поскольку содержание большинства публикаций по системам управления АНПА ограничено изложением подходов и принципов построения систем управления АНПА, а сами алгоритмы управления являются коммерческой тайной, разработчики каждого АНПА вынуждены разрабатывать систему управления самостоятельно.

Целью работы является краткое изложение алгоритмов управления АНПА, разработанных авторами. Алгоритмы базируются на мультиагентной структуре системы управления АНПА. Их отличие от известных алгоритмов заключается в приведённых ниже принципах, заложенных в их основу и направленных на обеспечение универсальности алгоритмов, позволяющей использовать их в системах управления АНПА различного назначения.

Алгоритмы управления АНПА включают две группы – алгоритмы, реализуемые на этапе подготовки к миссии, и алгоритмы, реализуемые в процессе выполнения миссии. Для сокращения объёма доклада в ней рассматривается только вторая группа алгоритмов.

Принципы построения алгоритмов управления АНПА. Разработанные алгоритмы управления АНПА базируются на следующих принципах:

1) маршрутное задание, загружаемое в процессе подготовки к миссии в память системы управления, состоит из следующих формализованных документов:

- описание маршрута АНПА в виде последовательности галсов на протяжении всей миссии;
- описание поведения АНПА при выполнении специальной программы (как правило, это работа в назначенном районе);
- таблица констант, обеспечивающих работу алгоритмов управления АНПА;
- таблица, содержащая формализованное географическое, навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое описание района планируемого маршрута АНПА;
- таблица планового расхода электроэнергии при движении по заданному маршруту.

2) Учитывая, что на практике точное движение по маршруту как по времени, так и по координатам в силу возникающих непредвиденных обстоятельств, как правило, не представляется возможным, в описании маршрута указываются только ключевые параметры миссии: конфигурация маршрута, плановые обсервации и сеансы связи, координаты района, в котором должна быть проведена целевая работа, содержание этой работы. Детализация маршрутного задания возлагается на систему управления, которая должна планировать предстоящие действия АНПА с учётом целевой установки и сложившихся обстоятельств.

3) В процессе выполнения миссии АНПА может находиться в одном из следующих состояний:

- движение по маршруту в соответствии с маршрутного задания;
- выполнение плановой обсервации одним из способов;

- расхождение с обнаруженным подвижным объектом;
- обход обнаруженного неподвижного препятствия;
- плановый сеанс связи по радиоканалу;
- выполнение специальной программы (в частности выполнение целевого задания в назначенном районе работы);
- аварийное прекращение миссии.

Все состояния ранжируются по приоритету. Если при нахождении АНПА в определённом состоянии возникают условия перехода в состояние с более высоким приоритетом, оно осуществляется, не дожидаясь нормального выхода из текущего состояния. Если же возникают условия перехода в состояние с более низким приоритетом, переход откладывается и осуществляется только после выхода из текущего состояния.

Данный подход существенно упрощает взаимодействие алгоритмов управления друг с другом.

4) Взаимодействие АНПА с пунктом управления осуществляется путём обмена формализованными сообщениями по радио- либо гидроакустическому каналу связи.

Пункт управления посылает АНПА сообщения двух типов:

- запрос текущего состояния АНПА;
- инструкции по изменению маршрутного задания в форме его фрагмента.

Формализованное сообщение, которое отправляет АНПА по запросу либо по собственной инициативе, содержит:

- код состояния АНПА;
- оставшийся запас электроэнергии;
- координаты АНПА;
- время последней обсервации;
- перечень условных номеров неисправных технических средств.

5) Для упрощения алгоритмов функционирования системы управления АНПА, всеми радиоэлектронными системами АНПА она управляет напрямую, а техническими средствами АНПА – через систему управления техническими средствами (СУТС) АНПА.

Алгоритмическая структура системы управления АНПА. Функционирование системы управления реализуется путём взаимодействия нескольких независимых алгоритмов управления:

- движением АНПА и организацией выполнения плановых заданий в соответствии с маршрутным заданием. Также данный алгоритм осуществляет контроль за расходованием запаса электроэнергии с принятием мер при превышении расходом плановых значений и периодическую диагностику технического состояния АНПА в интересах определения готовности АНПА к продолжению выполнения маршрутного задания. Данный алгоритм является управляющим по отношению к остальным алгоритмам;
- проведением обсерваций;
- освещением обстановки в интересах обнаружения опасных подвижных объектов и неподвижных препятствий;
- расхождением с подвижными объектами;
- обходом неподвижных препятствий;
- проведением сеансов связи;
- аварийным прекращением миссии;
- выполнением специальных программ;
- нормальным завершением миссии.

Все перечисленные алгоритмы реализуются независимыми асинхронно функционирующими программами, обменивающимися с алгоритмом управления движения и при необходимости друг с другом формализованными информационными модулями.

В процессе выполнения маршрутного задания система управления АНПА взаимодействует с другими системами АНПА, точнее с их системами управления, являющимися агентами в мультиагентной структуре управления АНПА. Взаимодействие осуществляется путём выдачи системам АНПА команд и при необходимости данных для их выполнения и получения докладов о результатах выполнения команд. Взаимодействие осуществляется с использованием формализованных информационных модулей. Для взаимодействия системы управления с каждой конкретной системой АНПА используется 2 информационных модуля: один для передачи

данных в направлении «система управления → система АНПА», другой для передачи данных в обратном направлении. Следует заметить, что, благодаря мультиагентной структуре управления АНПА, информационные модули содержат весьма ограниченный набор команд и данных.

В полном тексте доклада приводится описание алгоритмов управления АНПА, а также иллюстрация их работы на примере конкретной миссии.

Заключение. Создание эффективной системы управления АНПА является главной проблемой в развитии подводной робототехники. Работы в данном направлении ведутся во многих развитых странах мира. Однако, несмотря на это, на сегодняшний день приходится констатировать, что проблема ещё далека до окончательного решения. И работы по созданию алгоритмов, реализуемых в системах управления АНПА необходимо продолжать.

В докладе описана версия алгоритмов управления АНПА, разработанная авторами. Алгоритмы базируются на мультиагентной структуре системы управления АНПА. В основу алгоритмов положены принципы, обеспечивающие их универсальность, что позволит использовать разработанные алгоритмы в системах управления АНПА различного назначения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-08-00253)

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М.Д. и др. Автономные подводные роботы. Системы и технологии. М.: Наука, 2005, 400 с.
2. Инзарцев А.В. и др. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. 2007. №2 (4). С.5-14.
3. Боженов Ю.А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2011. Т. 4, №1. С.4-68.
4. Millar G., Mackay L. Maneuvering Under the Ice // Sea Technology. 2015. V.56. No. 4. P.35-38.
5. Киселёв Л.В., Костоусов В.Б., Медведев А.В., Тарханов А.Е. О гравиметрии с борта автономного подводного робота и оценках её информативности для навигации по карте // Подводные исследования и робототехника, 2019, №1(27), с.21-30.
6. Моргунов Ю.Н., Каменев С.И., Безответных В.В., Петров П.С. Исследование возможности позиционирования АНПА при выполнении ими глубоководных миссий // Подводные исследования и робототехника, 2019, №1(27), с.48-54.
7. Инзарцев А.В., Павин А.М. Язык планирования миссии на основе стандарта GeoJSON // Подводные исследования и робототехника, 2019, №2(28), с.32-40.
8. Кебкал К.Г. и др. Гидроакустические модемы с интегрированными цезиевыми часами для задач подводного позиционирования АНПА // Подводные исследования и робототехника, 2019, №2(28), с.4-12.
9. Кирьянов А.В., Бабкин Д.С., Хан Р.Е. Решения задач передачи информации и электропитания на АНПА и гидроакустические маяки ответчики // МРЭ, 2019, № 1(67), с.6-8.
10. Моргунов Ю.Н., Голов А.А., Дубина В.А., Лучин В.А. Методология применения океанологических данных для высокоточной обсервации подводных объектов на большой дальности // Подводные исследования и робототехника, 2018, №2(26), с.49-54.
11. Спорышев М.С., Щербатюк А.Ф. Об использовании групп морских роботов для охраны водных акваторий: краткий обзор // Подводные исследования и робототехника, 2018, №2(26), с.21-27.
12. Кирьянов А.В. Организация централизованного управления движением строя разведывательно-поисковой группы АНПА // МРЭ, 2018, №2 (64), с.2-6.
13. Опарин А.И., Печников А.Н. О некоторых проблемах формирования и применения группировок разнородных мобильных робототехнических комплексов и подходах к их решению. // Подводные исследования и робототехника, 2017, №1 (23), с.14-22.
14. Инзарцев А.В., Павин А.М., Лебедко О.А., Панин М.А. Распознавание и обследование малоразмерных подводных объектов с помощью АНПА. // Подводные исследования и робототехника, 2016, №2 (22), с.25-43.
15. Кирьянов А.В. Принципы организации инфокоммуникационной сети в группе АНПА. // Морская радиоэлектроника, 2017, №2 (60), с.22-25.
16. Пшихопов В.Х., Сиротенко М.Ю., Гуренко Б.В. Структурная организация систем автоматического управления подводными аппаратами для априори неформализованных сред // Информационно-измерительные и управляющие системы. Интеллектуальные и адаптивные роботы. 2006. Т.4, № 1-3. С.73-79.
17. Ермолов И.Л. Расширение функциональных возможностей мобильных технологических роботов путем повышения уровня их автономности с использованием иерархической комплексной обработки бортовых данных. Дис. … докт. техн. наук, 2012, 350 с.
18. Мартынова Л.А., Машошин А.И., Пашкевич И.В., Соколов А.И. Система управления – наиболее сложная часть автономных необитаемых подводных аппаратов // Морская радиоэлектроника. 2015. №4 (54). С. 23-32.
19. Мартынова Л.А., Машошин А.И., Пашкевич И.В., Соколов А.И. Интегрированная система управления автономного необитаемого подводного аппарата // Материалы 8-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления, Дивноморское, 28 сентября – 3 октября 2015г. Т.3. С.191-193.
20. Борейко А.А., Инзарцев А.В., Машошин А.И., Павин А.М., Пашкевич И.В. Система управления АНПА большой автономности на базе мультиагентного подхода // Подводные исследования и робототехника. 2019. №2 (28). С.23-31.

21. Rajan K., et al. Remote agent: an autonomous control system for the new millennium // Proc. of prestigious applications of intelligent systems, European conference on artificial intelligence (ECAI), Berlin. 2000.
22. Innocenti B. A multi-agent architecture with distributed coordination for an autonomous robot. Ph.D. dissertation – Universitat de Girona, 2009.
23. Kim T.W., Yuh J. Development of a real-time control architecture for a semiautonomous underwater vehicle for intervention missions // Autonomous Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of Hawaii. 2003. P.1521-1530.
24. Sutarto H., Budiyono A. Development of linear parameter varying control system for autonomous underwater vehicle // Indian J. Geo-Marine Sci. 2011. V.40. P.275–286.
25. Sarhadi P., Noei A.R., Khosravi A. Model reference adaptive autopilot with anti-windup compensator for an autonomous underwater vehicle: Design and hardware in the loop implementation results // Appl. Ocean Res. 2017. V.62. P.27–36.
26. Geranmehr B., Nekoo S.R. Nonlinear suboptimal control of fully coupled non-affine six-DOF autonomous underwater vehicle using the state-dependent Riccati equation // Ocean Eng. 2015. V.96. P.248–257.
27. Fischer N., Hughes D., et al. Nonlinear RISE-Based Control of an Autonomous Underwater Vehicle // IEEE Trans. Robot. 2014. V.30. P.845–852.
28. Narasimhan M., Singh S.N. Adaptive optimal control of an autonomous underwater vehicle in the dive plane using dorsal fins // Ocean Eng. 2006. V.33. P.404–416.
29. Zhu D., Sun B. The bio-inspired model based hybrid sliding-mode tracking control for unmanned underwater vehicles // Eng. Appl. Artif. Intell. 2013. V.26. P.2260–2269.
30. Raeisy B., Safavi A.A., Khayatian A.R. Optimized fuzzy control design of an autonomous underwater vehicle // Iran. J. Fuzzy Syst. 2012. V.9. P.25–41.
31. Esfahani H.N., Azimirad V., Danesh M. A Time Delay Controller included terminal sliding mode and fuzzy gain tuning for Underwater Vehicle-Manipulator Systems // Ocean Eng. 2015. V.107. P.97–107.
32. Parhi D.R., Kundu S. Review on guidance, control and navigation of autonomous underwater mobile robot // Int. J. Artif. Intell. Comput. Res. 2012. V.4. P.21–31.
33. Dayan P., Berridge K.C. Model-based and model-free pavlovian reward learning: revaluation, revision and revelation // Cogn Affect Behav Neurosci. 2014. V.14. P.473–492.
34. El-Fakdi A., Carreras M. Two-step gradient-based reinforcement learning for underwater robotics behavior learning // Robotics and Autonomous Systems. 2013. V.61. No.3. P.271–282.
35. Zhang L., Jiang D., J. Zhao, Shan M. An AUV for ocean exploring and its motion control system architecture // Open Mechanical Engineering Journal. 2013. V.7. P.40-47.
36. Hasankashefi M., F. Bolouri F., Bolouri K. Path Planning and Open-Loop Control Algorithms for a Differential Thrust Autonomous Underwater Vehicle // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)/ 2016. V.11, Issue 4. P.151-158.
37. Pinto J., Borges de Sousa J., Py F., Rajan K. Experiments with deliberative planning on autonomous underwater vehicles // IROS Workshop on Robotics for Environmental Monitoring, Vila Moura, Portugal. 2012.
38. Petillot Y.R., Antonelli G., Casalino G., Ferreira F. Underwater Robots: From Remotely Operated Vehicles to Intervention-Autonomous Underwater Vehicles // IEEE Robot. Autom. Mag. 2019. V.26. P.94–101.
39. Melo J., Matos A. Survey on advances on terrain based navigation for autonomous underwater vehicles // Ocean Eng. 2017. V.139. P.250–264.
40. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта. 1998. №2. С.64-116.
41. Ржевский Г.А., Скобелев П.О. Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. Самара: Офорт. 2015. 290 с.

V.S. Bykova, L.A. Martynova, A.I. Mashoshin, I.V. Pashkevich (State Research Center of the Russian Federation – Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg)

Algorithms for Functioning of the Multiagent Control System of Autonomous Unhabitable Underwater Vehicle

A version of the algorithms for the functioning of the autonomous unmanned underwater vehicle (AUV) control system developed by the authors is described. The algorithms are based on the multiagent structure of the AUV control system. Their difference from the well-known algorithms lies in the principles underlying them and aimed at ensuring the universality of the algorithms, which allows them to be used in AUV control systems for various purposes.

А. Ю. ДОРОГОВ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

СТРАТИФИЦИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ САМОПОДОБНЫХ МОДУЛЬНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Введено понятие самоподобного морфогенеза модульных сетей. Показано, что морфогенез морфологического уровня определён на терминальных проекциях модулей, а структурного уровня – на популяции градуированных подпространств. Для самоподобных модульных нейронных сетей предложена стратифицированная модель, включающая морфологический, структурный, топологический и параметрический уровни. Рассмотрены структурно-регулярные нейронные сети. Показано, что алгоритмы быстрых преобразований (включая БПФ) могут быть описаны топологической моделью структурно-регулярной самоподобной сети. Представлена лингвистическая модель для описания топологий регулярных самоподобных сетей. Предложен алгоритм построения топологических матриц матричной факторизованной формы быстрых алгоритмов. Показана достаточность топологической модели для описания полного множества быстрых алгоритмов. Приведены примеры.

Известно, что биологический нейрон не функционирует, изолировано, а образует различной величины и численности нейронные ансамбли, нейронные модули или нервные центры. Впервые принцип модульной организации нейронных сетей был описан Р. Лорентье де Но [1]. В 1933 г. Р. Лорентье де Но установил, что нейроны коры головного мозга объединяются в вертикальные столбики клеток (колонки), представляющие собой функциональные единицы, связанные общностью рецепторного поля.

Прямые физиологические результаты, подтверждающие модульное строение корковых структур мозга были получены В. Маунткаслом в 1957–1959 гг. [2, 3]. Исследования новой коры (неокортекса) у млекопитающих проведенные Дж. Эдельманом и В. Маунткаслом [4] показали, что кора обладает высокой степенью однородности в структурном строении. У человека новая кора насчитывает шесть горизонтальных слоёв нейронов, отличающихся по типу и характеру связей. Вертикально, нейроны объединены в так называемые колонки кортекса. Колонки группируются в более сложные образования – макроколонки, сохраняют определённый топологический порядок и образуют строго-связанные распределённые системы.

Неокортекс присутствует только у млекопитающих, причём стремительное увеличение коры головного мозга у человека произошло всего лишь пару миллионов лет тому назад. Любые значительные эволюционные изменения, происходящие в короткий промежуток времени, обеспечиваются заимствованием существующих структур, т.е. в новой коре Природой реализован принцип самоподобия.

Известное классическое определение самоподобия [5] ориентировано на обслуживание математических моделей фракталов, и не вполне подходит для представления самоподобных объектов не фрактальной природы, поэтому существует необходимость введения обобщающего определения, включающее в себя фрактал как частный случай. Если обратится к биологии, то подходящим понятием может служить морфогенез живых систем. Под морфогенезом в биологии понимается процесс возникновения новых структур и изменения их формы в ходе индивидуального развития организмов.

В прикладных областях биологии используется более узкое определение: морфоге́нез это возникновение и направленное развитие популяции таксономической группы организмов. Где табсо́н (τάξις от греческого «порядок, устройство, организация») – страта в иерархической классификации, состоящая из дискретных упорядоченных объектов, объединяемых на основании общих свойств и признаков. Не ставя перед собой задачи построение строгой математической модели морфогенеза, введём рабочее определение достаточное для задач морфологического синтеза самоподобных сетей.

Определение 1. Будем говорить, что на популяции индексированных объектов определён морфогенез, если для каждого объекта популяции найдётся точное отображение «родитель-потомок» однозначно индексирующее дочерние объекты.

Например, пусть $X = X_0 = \oplus\limits_{z_0} A_{z_0}$ – начальная индексированная популяция, тогда направленное развитие популяции по поколениям определяется последовательностью индексируемых популяций вида:

$$X_0 = \oplus\limits_{z_0} A_{z_0}, \quad X_1 = \oplus\limits_{z_1}\oplus\limits_{z_0} A_{/\langle z_1 z_0\rangle}, \cdots, X_{n-1} = \oplus\limits_{z_{n-1}} \cdots \oplus\limits_{z_1}\oplus\limits_{z_0} A_{/\langle z_{n-1}\cdots z_1 z_0\rangle}, \cdots$$

Если X это компактное топологическое пространство заданное отрезком единичной длины и объектами популяцией является части отрезка, то все поколения объектов популяции совпадают с этим пространством, так что

$$X = X_0 = X_1 = \cdots = X_{n-1} = \cdots,$$

и если ещё потребовать конечности выбора правил индексации объектов популяции, то понятие морфогенеза трансформируется к определению самоподобия на компакте, т. е. к фракталу. Заметим, теперь, что если ограничится только условием конечности выбора правил индексации, то это приводит к самоподобным растущим популяциям, не связанным с фракталами, а если снять условие конечности выбора правил индексации, то процесс роста популяции вследствие морфогенеза в общем случае не будет самоподобным.

При неопределённости числа поколений затруднительно ответить на вопрос о конечности выбора правил индексации и наличия самоподобия. В этом случае необходимо вводить дополнительные ограничения, выделяющие самоподобный процесс, например, если для всех поколений морфогенеза, отображения «родитель-потомок» совпадают, то очевидно морфогенез тривиально самоподобен. Однако класс популяций тривиального самоподобного морфогенеза достаточно узкий, и для практических целей целесообразно его несколько расширить.

Определение 2. Морфогенез назовём *регулярным*, если отображение «родитель-потомок» в каждом поколении совпадает для всех объектов и однозначно определяется номером поколения.

Очевидно, что тривиальный самоподобный морфогенез является частным случаем регулярного, когда отображения «родитель-потомок» для всех поколений совпадают. Прослеживается явная автомодельность в описании регулярного и тривиального самоподобного морфогенеза, поэтому и для регулярного морфогенеза мы также будем использовать термин самоподобный.

Математические модели служат средством изучения и проектирования нейронных сетей. От модели требуется, чтобы она была простой, но функционально достаточной. Основной проблемой математического моделирования является нахождение приемлемого компромисса между детализацией и простотой описания. Один из путей решения этой проблемы заключается в формировании иерархически вложенных семейств моделей, где каждый уровень иерархии соответствует уровню разумного абстрагирования свойств системы, что ведёт к упрощению каждой частной модели. Такое многоуровневое представление модели принято называть *стратификацией* [6], а каждый уровень модельного представления – стратой. Стратификация позволяет исследовать систему на разных стадиях познания и описывать каждый уровень адекватными средствами. Стратифицирование можно рассматривать и как средство последовательного углубления представления о системе: при спуске по иерархии страт вниз система раскрывается в деталях; при подъёме на более абстрактные уровни яснее становится смысл и значение всей системы. В математической формулировке стратификация связана с выделением на каждом уровне иерархии эквивалентных отношений и переходом к факторным моделям, описывающим следующий уровень.

Для модульных нейронных сетей можно построить четырехуровневую стратифицированную модель, включающую морфологический, структурный, топологический и параметрический уровни. Страты модельных представлений упорядочены по степени абстракции (рисунок). Высший уровень абстракции соответствует морфологическому представлению, а низший – параметрическому. На морфологическом уровне описываются условия порождающего морфогенеза и системные инварианты самоподобных сетей. В *структурной модели* представлены размерности модулей и ранги межмодульных связей, но отсутствует информация об индексах координат вектора данных. Эта модель предназначена для оценки качественных показателей быстрого перестраиваемого преобразования, таких как быстродействие и пластичность. При-

вязка векторов к структурной модели может иметь множество вариантов и порождает множество топологических реализаций быстрых преобразований. *Топологическая модель* позволяет выбрать форму алгоритма, удобную для практической реализации. Топологическая модель, дополненная значениями коэффициентов базовых операций (модулей), образует модель *параметрического уровня*. На параметрическом уровне реализуются методы обучения и настройки нейронных сетей по заданным показателям качества.

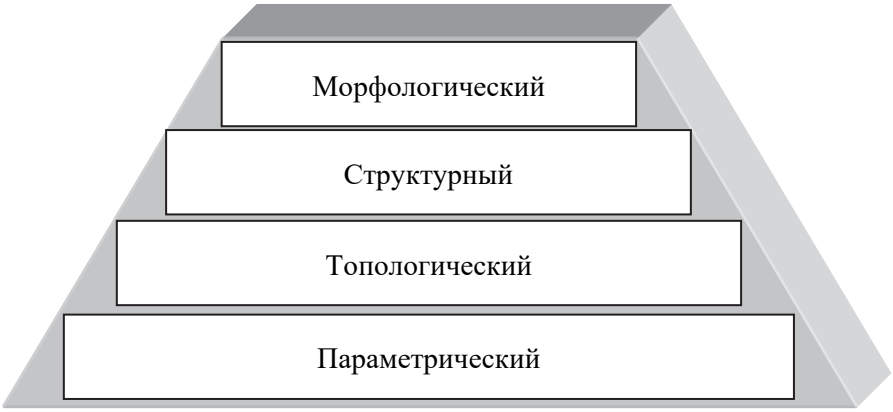


Рисунок. Иерархия уровней стратифицированной модели
модульной нейронной сети

Стратификация моделей позволяет разделить проектирование нейронной сети на относительно независимые этапы и использовать для каждого этапа специфичный математический аппарат.

В работе показано, что математическая модель самоподобия может быть распространена на многослойные модульные сети. Морфогенез самоподобия реализуется на популяции терминальных проекций нейронных модулей. Доказаны теоремы самоподобных структур. Представлены стратифицированные математические модели многослойных модульных нейронных сетей. Показано, что структура самодобной сети может быть выражена аналитически и описана лингвистической моделью. Построены графы морфологических, структурных и топологических моделей самоподобных нейронных сетей. Показано, что граф быстрого преобразования Фурье относиться к классу самоподобных сетей.

Самоподобие и регулярность слабосвязанных сетей обеспечивают уникальную возможность аналитического представления топологии реализующей сети, что позволяет разработать алгоритмы обучения нейронных сетей, абсолютно-сходящиеся за конечное число шагов. Кроме того, существует вариант аналитического расширения топологии самоподобной сети, который приводит к архитектурам глубоких нейронных сетей, сохраняющих быструю абсолютную сходимость алгоритмов обучения [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Lorente de No R**. Studies on structure of the cerebral cortex // J. Psychol. Neurol. 1933. V.45. P. 381-392.
2. **Mauntcastle V.B**. Mogality and topographics of single neurouns of cat’s somatic sensory cortex // J. Neurophysiol. 1957. V.20. P. 408-434.
3. **Mauntcastle V.B. Powell T.P**. Central nervous mechanisms subserving position sense and kinesthesis // Bull. John Hopkins Hosp. 1959. V.105. P. 173–182.
4. **Маункасл В.** Организующий принцип функции мозга – элементарный модуль и распределенная система // Дж. Эдельман, В. Маункасл. Разумный мозг: Кортикальная организация и селекция групп в теории высших функций головного мозга / Пер. с англ. Н.Ю. Алексеенко; под ред. Е.К. Соколова. М.: Мир, 1981. 133 с.
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Самоподобие.
6. **Волкова В.Н., Денисов А.А**. Основы теории систем и системного анализа: Учеб. для студентов вузов. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 512 с.
7. **Дорогов А.Ю.** Быстрые нейронные сети глубокого обучения. Сборник докладов III Международной научной конференции по проблемам управления в технических системах (CTS'2019). Санкт-Петербург. 30 октября – 1 ноября 2019 г. СПб. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 275–280.

A.Yu. Dorogov (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg)
Stratified Models of Self-similar Modular Neural Networks

The concept of self-similar morphogenesis of modular networks is introduced. It is shown that the morphogenesis of the morphological level is defined on the terminal projections of modules, and the structural level – on the population of graded subspaces. For self-similar modular neural networks, a stratified model is proposed, including morphological, structural, topological and parametric levels. Structurally regular neural networks are considered. It is shown that fast transformation algorithms (including FFT) can be described by a topological model of a structurally regular self-similar network. A linguistic model for describing the topologies of regular self-similar networks is presented. An algorithm for constructing topological matrices of matrix factorized form of fast algorithms is proposed. The sufficiency of the topological model is shown to describe the full set of fast algorithms. Examples are given.

Р. Р. ГАЛИН
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва

УМНОЕ ПРОИЗВОДСТВО. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА И РОБОТА

На пути становления и развития четвертой промышленной революции или Industry 4.0, чья концепция заключается в автоматизированном производстве безлюдных рабочих пространств, возникает вопрос трансформации и полной автоматизации производства. Данный процесс подразумевает создание умных производственных мощностей, интегрируя роботов на рабочие места. Рост функциональных возможностей робототехнических решений способствует непрерывному производственному процессу. Однако, современные технологии не позволяют полностью автоматизировать рабочий процесс. Таким образом, возникает необходимость оптимального распределения функциональных задач между человеком и роботом. Данный подход является альтернативным решением эффективного умного производства, при котором рост производительности зависит от совместной работы человека и коллаборативного робота, учитывая требования мер безопасного взаимодействия.

Введение. Применение сетевых информационных технологий и социо-киберфизических системах в производственном процессе ознаменовало переходный этап от автоматизации и компьютеризации к «умному производству». Понятие «умного производства» связано с интеграцией киберфизических систем в производство с целью интеллектуального управления рабочим процессом. Целью «умного производства» является повышение производительности труда и снижение издержек с использованием современных технологий и интеллектуальных робототехнических систем.

Предлагаемый доклад посвящен разработке многоагентной робототехнической системы с применением коллаборативных роботов в рабочем процесс с целью создания умного производства на предприятии.

В соответствии с технической спецификацией и международными стандартами [1–3], к коллаборативным роботам относятся такие роботы, способные работать совместно с человеком в едином пространстве без нанесения вреда последнему. Понятие коллаборативного робота или кобота появилось задолго до его реализации в современной робототехнике [4, 5]. Причиной этому последовало переосмысление автоматизации производственного процесса на стыке с развитием технологий. Данные роботы оснащены широким набором датчиков и систем технического зрения. Например, если человек попадает в зону действия такого робота, они смогут изменить алгоритм поведения и не причинят ему вред. Если это движущийся робот, то попадая в траекторию движения человека, он должен либо остановиться, либо изменить свою траекторию.

Многоагентная робототехническая система. Взаимодействие интеллектуальных агентов. Многоагентные системы представляют собой некоторое множество интеллектуальных агентов, взаимодействующих друг с другом, учитывая взаимное влияние со стороны внешней среды [6, 7]. Изначально данное понятие связано с программными системами или моделями, которые описывают процесс их работы и поведения. Тогда в качестве агента выступает программный агент (исполняемая программа) или абстрактный интеллектуальный агент, например, экономический агент (то есть, модель, формализованное описание действующего лица реальной системы). При рассмотрении робототехнических систем в качестве агента выступают роботы [8]. Ключевыми аспектами интеллектуальных агентов являются целенаправленность и автономность, связанная с действиями на основе целенаправленных проблемно-ориентированных рассуждений.

Интеллектуальные агенты классифицируется на натуральные и искусственные. К натуральным – относятся человек, животные, а к искусственным – робот, коллектив роботов, компьютерная программа. Более комплексное определение интеллектуального агента дано в работе [9].

В противоположность интеллектуальным агентам – реактивные, не имеют представления о внешней среде и не обладают функциями когнитивного анализа. Реактивные агенты не обладают возможностью прогнозировать изменения внешней среды и планировать действия в

отношении других агентов [10]. На рисунке представлен сравнительный анализ агентов с разделением по типологии.

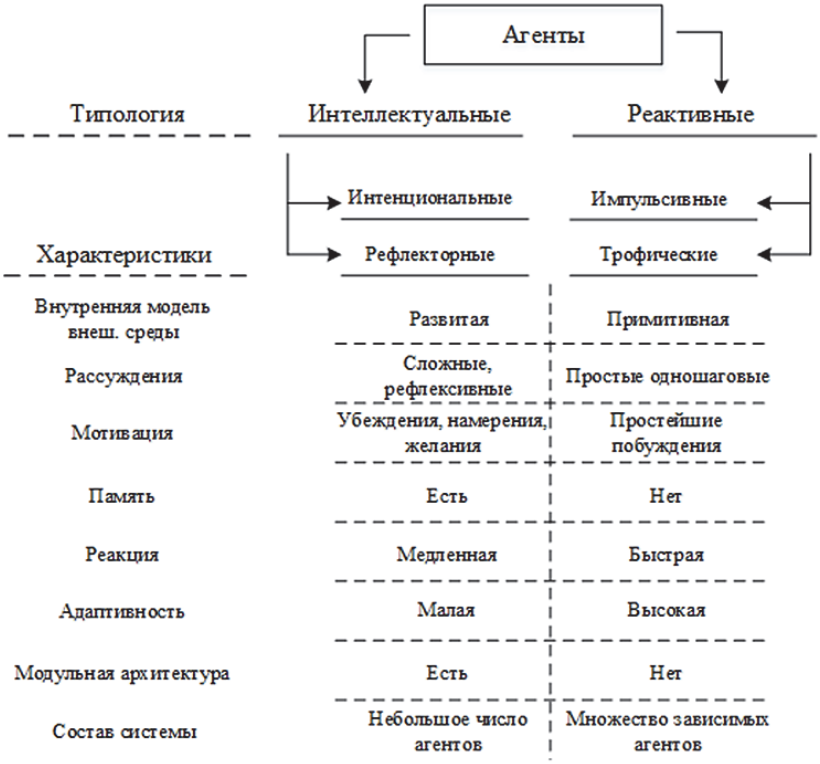


Рисунок. Сравнительный анализ интеллектуальных агентов

Автономность интеллектуальных агентов позволяет планировать действия агентов с учетом изменений внешней среды и поведением других агентов в многоагентной системе для достижения поставленной цели. Коллаборативные роботы относятся к интеллектуальным агентам, способным реагировать на других агентов в различных ситуациях на основе прогнозируемой информации. Стоит отметить, что реактивные агенты, учитывая их большое число, в системе могут представлять интерес на коллективном уровне. Такие системы представляют относительно простую систему, но с жесткой зависимостью от внешней среды. Взаимная адаптация способна решать сложные задачи. К таким примерам относится группа манипуляционных роботов на конвейере. Группу интеллектуальных агентов – коллаборативных роботов и людей-операторов можно назвать робототехнической эргатической системой. Взаимодействие рассматривать на примере многоагентной робототехнической эргатической системы.

Распределение задач между интеллектуальными агентами. Распределение задач в многоагентной робототехнической эргатической системе рассматривается с применением коллаборативных роботов, учитывая требования безопасности [1, 2] централизованными и децентрализованными методами и алгоритмами.

Централизованное распределение задач относится к видам глобального планирования и осуществляется в многоагентной робототехнической системе управляющим центром. Применение такого метода характерно с возможными изменениями входных данных, что увеличивает число задач для интеллектуальных агентов. В данном случае возникает необходимость пересматривать процедуру распределения задач. Наиболее оптимальными алгоритмами применительно к централизованному методу распределения задач относятся алгоритм роя частиц и генетический алгоритм.

В случае, когда планирование действия агентов происходит на локальном уровне, потеряв связь с управляющим центром или по причине выхода из строя агентов, возникшего столкновения или препятствия, применим децентрализованный метод распределения задач. Наиболее оптимальными алгоритмами применительно к децентрализованному методу распределения задач относятся алгоритм аукциона и метод на основе теории игр.

Заключение. Сравнительный анализ применения различных методов распределения задач показывает наиболее эффективное решение для поставленной задачи. Для централизованного метода распределения задач наиболее приемлемым алгоритмом является алгоритм роя частиц. В отношении децентрализованного метода приемлем алгоритм на основе теории игр.

Внедрение коллаборативных роботов в процесс автоматизации позволяет многие задачи эффективно решать только при групповом взаимодействии интеллектуальных агентов.

Работа проводилась при частичной поддержке гранта РФФИ 19-08-00331

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO. ISO/TS 15066:2016-02 (e) Robots and robotic devices – Collaborative robots (2016).
2. ISO 10218-2:2011 “Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part 1, 2: Robot systems and integration” Geneva (2011).
3. **Galin R., Meshcheryakov R.** (2019) Review on Human–Robot Interaction during Collaboration in a Shared Workspace. In: Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R. (eds) Interactive Collaborative Robotics. ICR 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol. 11659. Springer, Cham.
4. **Ермишин К.В., Ющенко А.С.** Коллаборативные мобильные роботы – новый этап развития сервисной робототехники / К.В. Ермишин, А.С. Ющенко // Робототехника и техническая кибернетика. №3(12). Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК. 2016. С. 3-9.
5. **Anandan T.M.** Robots, humans collaborate on safety. Электронный ресурс. URL: https://www.controleng.com /single-article/robots-humans-collaborate-on-safety. Дата обращения: 05.08.2020.
6. **Wooldridge M., Jennings N.** Agent Theories, Architectures and Languages: a Survey // Intelligent Agents: ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages (Amsterdam, The Netherlands, August 8-9, 1994)/ Ed. by M. Wooldridge, N. Jennings. Berlin: Springer Verlag, 1995. P.1-22.
7. **Тимофеев А.В**. Мультиагентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами // Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий. СПб.: СПИИ РАН, 1999. С. 71-81.
8. **Осипов О.Ю., Мещеряков Р.В., Шепеленко М.Г**. Проектирование цифровых моделей элементов электромашинной части электромехатронных модулей робототехнических систем // Экстремальная робототехника. 2017. № 1. С. 160-164.
9. **Sycara K., Pannu A., Williamson M., Zeng D., Decker K.** Distributed Intelligent Agents/IEEE Expert: Intelligent Sys-tems and Their Applications. 1996. Vol.11, №6. P. 36-46.
10. Многоагентные системы. Информационный портал – AIportal.ru – Искусственный интеллект. Электронный ресурс. URL: http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/agent-classification.html. Дата обращения: 12.07.2020.

R.R. Galin, (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow)

Smart Production. Human-Robot Collaboration

The Industry 4.0 is changing the approach to automation. The concept is to automate the production of free workspaces. This process involves creating smart production capacities by integrating robots into workplaces. Functional capabilities growing of robotic solutions are contributes to a continuous production process. There is a task for automation that disclose in optimal distribution of functional tasks between a human and a robot. This approach is an alternative solution to efficient smart production in which productivity growth depends on the collaboration of a human and a collaborative robot, taking into account the requirements of safe interaction measures.

П. А. КОНОВАЛОВ, А. И. ВОЛОШИНА, А. О. КАЛИТИН, А. Л. ФРАДКОВ
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Д. М. КОРОЛЕВ
ООО «КРАВТ», Санкт-Петербург

КОМАНДА РОБОТОВ-ФУТБОЛИСТОВ UROBORUS-2020 ДЛЯ СОРЕВНОВАНИЙ ROBOCUP SSL

Описывается робототехнический комплекс URoboRus – команда роботов из России, которая активно готовится к участию в международных соревнованиях по футболу роботов RoboCup в лиге Small Size League (SSL) и второй год подряд успешно проходит квалификационный этап этих состязаний.

Введение. RoboCup – это международные соревнования по робототехнике, которые проводятся с 1996 года [1]. Целью организаторов является создание автономных роботов-футболистов для содействия научным исследованиям в областях компьютерного зрения, навигации, искусственного интеллекта, мультиагентного взаимодействия. Соревнования RoboCup проводятся по нескольким лигам, из которых самой первой и, на взгляд авторов, наиболее интересной является Small Size League (SSL). Команды из России ни разу не принимали участия в такого рода соревнованиях, но уже второй год подряд Российская команда URoboRus успешно проходит квалификационный этап [2, 3, 4, 5] и интенсивно готовится к соревнованиям 2021 года. Стоит отметить, что разработанный в 2012 году стенд RoboCup успешно использовался для научных исследований [6, 7, 8] и популяризации соревнований управляемого футбола роботов среди школьных команд [9]. Предлагаемый доклад знакомит с основными улучшениями в механике и электронике роботов и в алгоритмах управления роботами, сделанными за последний год. Разработка велась согласно правилам международных соревнований [10].

Модели роботов. Основой робота-футболиста является четырехколесная омниплатформа, позволяющая перемещаться в любом направлении (рис. 1). Робот оснащен двумя ударными устройствами (кикерами): для прямого удара и навеса мяча. Для связи с роботом используется радиомодуль. С торцевой стороны установлены лазерные датчики для определения мяча перед роботом и дриблеры. Дриблер это вращающийся вал, предназначенный для захвата мяча. Верхняя часть роботов маркирована цветными кругами для идентификации на поле (координаты и направление) с помощью камеры и SSL-Vision.

Рис. 1. Внешний вид роботов

Система управления. Роботы контролируются единым вычислительным центром. Цикл управления состоит из следующих шагов: получение информации о положении роботов на поле и мяча и сенсорных данных роботов, вычисление управляющих сигналов робота (вектор скорости, угловая скорость, сигнал об ударе), передача на робота управляющих сигналов.

Улучшение механики роботов. Наиболее важной частью улучшения конструкции робота стало изменение модуля дриблера. Помимо двух главных проблем дриблера – захвата мяча и его центрирования, команда поработала над технологичностью деталей и упрощением сборки и замены ролика дриблера при его износе.

Практически в любой схеме механики дриблера при центрировании мяча, происходит его затягивание глубже в тело робота, при этом происходит изменение положения ролика. В нашей схеме ось ролика перемещается по дуге окружности. Раньше длина этой дуги была слишком

малой для полноценного захвата мяча, к тому же упругий элемент, который возвращал ролик в начальное положение, был слишком жестким. Поэтому конструкция дриблера была изменена и в качестве упругого элемента теперь используется пружина, жёсткость которой может изменяться регулировочным винтом. Настраивая жёсткость пружины, можно изменять силу, с которой ролик давит на мяч, чем упростить его втягивание внутрь робота, а значит улучшить контроль над мячом.

В новой версии дриблера роль направляющей играет ковш, а не ролик. Это упрощает изготовления ролика, а также его замену после износа. Ролик, в таком случае, имеет гладкую цилиндрическую форму, а в ковше имеется углубление, по которому мяч притягивается к центру робота при одновременном контакте с ковшом и роликом. Гладкая поверхность ролика с одной стороны упрощает его изготовление, а с другой стороны замедляет его износ из-за отсутствия перепадов и выступающих частей.

Благодаря изменению общей компоновки робота появилось больше места для конденсаторов, что позволило значительно повысить силу удара по мячу.

Изменение системы связи с роботами. Раньше для обеспечения связи мобильных роботов с вычислительным центром применялся модуль ESP8266EX фирмы Espressif Systems. С помощью этого модуля роботы связывались с вычислительным центром посредством Wi-Fi сети.

Согласно информации, которая была получена от представителей ассоциации RoboCup, во время проведения соревнований не будут отключаться другие Wi-Fi точки, как предполагалось ранее. При большом скоплении устройства, использующие Wi-Fi, создают помехи и перебои со связью другим устройствам, в связи с чем, ожидаются высокие значения задержек на передачу информации от мобильных роботов к базовой станции.

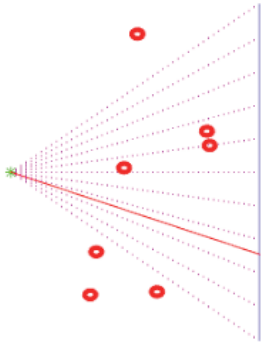


Рис. 2. Демонстрация работы алгоритма при атаке ворот

В ходе проведения анализа применяемых радиоканалов другими командами было принято решение использовать радиомодуль NRF24L01+ фирмы Nordic Semiconductor, который позволяет обеспечивать связь с роботами без использования Wi-Fi.

Улучшение алгоритмов управления. Год назад, по части алгоритмов, команда занималась в основном решением простейших задач перемещения и манипулирования мячом. Но для ведения конкурентной игры этого недостаточно, также система должна уметь каким-то образом оценивать состояние игры и принимать решения. В связи с этим была формально поставлена задача о поиске слабого места в защите команды противника и разработан алгоритм её решения (рис. 2).

Заключение. Описанные в работе модернизации были использованы для записи квалификационного видео [11] и подготовки документа описания команды URoboRus [12] при подаче заявки на участие в финале RoboCup SSL, который был запланирован на 2020 год, но перенесён в связи с пандемией на 2021 год.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://robocup.org/
2. https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2019/03/2019_TDP_URoboRus.pdf
3. https://www.youtube.com/watch?v=W6JNIaXGRRk
4. **Коновалов П.А., Корнилова А.В., Королев Д.М., Ренева Г.В., Фрадков А.Л., Широколобов И.Ю., Ярош Д.С.** Команда роботов-футболистов для соревнований RoboCup в лиге SSL: система и алгоритмы. Информационно-управляющие системы, 2019, № 2, с. 19-25
5. **Iarosh D., Reneva G., Kornilova A. and Konovalov P.**, "Multiagent System of Mobile Robots for Robotic Football," *2019 26th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS)*, Saint Petersburg, Russia, 2019, pp. 1-3, doi: 10.23919/ICINS.2019.8769365
6. **Matveev A.S., Michael Colin Hoy, Ovchinnikov K.S., Anisimov A**. Robot navigation for monitoring unsteady environmental boundaries without field gradient estimation. Automatica 62, 2015, 227-235.
7. **Лучин Р.М., Широколобов И.Ю., Овчинников К.С**. Исследование алгоритмов мультиагентного взаимодействия с помощью робототехнического комплекса. 5-я Российская мультиконференция по проблемам управления, 213-215, 2012
8. **Shirokolobov I., Filippov S., Luchin R., Ovchinnikov K., Fradkov A.** Control engineering at high schools and universities: project-based learning. Handbook of Research on Estimation and Control Techniques in E-Learning Systems. 2016, p. 141-170, IGI Global.
9. https://robofinist.ru/event/info/competitions/id/213#kind1399 – Управляемый футбол 4x4

10. https://ssl.robocup.org/rules/
11. https://www.youtube.com/watch?v=Ph_ohcxli1M
12. https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2020/03/2020_TDP_RoboRus.pdf

P.A. Konovalov, A. Voloshina, A. Kalitin, A.L. Fradkov (Saint Petersburg State University, St. Petersburg), D.M. Korolev (LTD “KRAVT”, St. Petersburg)

The Robot Football Team UROBORUS-2020 for RoboCup SSL Competition

URoboRus is a team from Russia that is actively preparing to participate in the international RoboCup robot football competition in the Small Size League and for the second year successfully passes the qualifying stage of these competitions.

П. А. КОНОВАЛОВ
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

АЛГОРИТМ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ В СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ КОМАНДЫ РОБОТОВ-ФУТБОЛИСТОВ

Для участия в международных соревнованиях по футболу роботов RoboCup в Small Size League был разработан механизм принятия оптимального решения в типичных ситуациях робофутбола.

Введение. RoboCup это международные соревнования, по робототехнике которые проводятся с 1996 года [1]. Целью является создание автономных роботов-футболистов для содействия научным исследованиям в областях компьютерного зрения, навигации, искусственного интеллекта, мультиагентного взаимодействия. Соревнования RoboCup насчитывают множество лиг, из которых самой первой и, на взгляд авторов, наиболее интересной является Small Size League (SSL). Команды из России ни разу не принимали участия в такого рода соревнованиях. Но стоит отметить, что уже второй год подряд Российская команда URoboRus успешно проходит квалификационный этап этих соревнований [2, 3, 4, 5] и интенсивно готовится к соревнованиям 2021 года. Предлагаемый доклад посвящён алгоритму поиска наилучшего решения в типичных игровых ситуациях: перепасовках, ударах по воротам. Разработка алгоритма велась согласно правилам международных соревнований [6].

Модели роботов. Основой робота-футболиста является четырехколесная омниплатформа, позволяющая перемещаться в любом направлении (рис. 1). Робот оснащен двумя ударными устройствами (кикерами): для прямого удара и навеса мяча. Для связи с роботом используется радиомодуль. С торцевой стороны установлены лазерные датчики для определения мяча перед роботом. Верхняя часть роботов маркирована цветными кругами для идентификации на поле (координаты и направление) с помощью камеры и SSL-Vision.

Рис. 1. Внешний вид роботов

Система управления. Роботы контролируются единым вычислительным центром. Цикл управления состоит из следующих шагов: получение информации о положении роботов на поле и мяча и сенсорных данных роботов, вычисление управляющих сигналов робота (вектор скорости, угловая скорость, сигнал об ударе), передача на робота управляющих сигналов.

Постановка задачи. Упрощенно игру в робофутбол можно описать как последовательность передач мяча от робота к роботу и ударов по воротам. При этом оперировать с мячом надо таким образом, чтобы он не оказался у команды противника. Поэтому перед очередным ударом нужно как-то оценивать шансы на успех.

Перейдем к формальной постановке задачи. На плоскости в точке B расположен мяч, в точках $A_1, A_2, \dots, A_N$ расположены центры роботов команды противника (рис. 2). Роботы представлены кругами радиуса R. Имеется семейство вещественно значных функций $f_1, f_2, \dots, f_N$ заданных на множестве S векторов единичной длины. Для удобства обозначим

$$G(\overline{d}) := \{B + t \cdot \overline{d} \mid t \geq 0\} \quad (1)$$

луч выпущенный из точки B в направлении $\overline{d}$. Значение $f_r(\overline{d})$ где $\overline{d} \in S$ показывает насколько удобно роботу r поймать мяч если мяч начнёт двигаться вдоль траектории $G(\overline{d})$, то есть данная

постановка предполагает наличие некоторых априорных знаний о возможностях роботов команды противника, которые могут быть получены при наблюдении за ними в ходе игры. Функции f_r обладают следующим свойством: если $G(\overline{d}_1)$ проходит дальше от робота r чем $G(\overline{d}_2)$ тогда

$$f_r(\overline{d}_1) < f_r(\overline{d}_2) \tag{2}$$

В терминах введённых обозначений естественно определить функцию

$$f(\overline{d}) = \max_{r \in 1:N} f_r(\overline{d}) \tag{3}$$

значение которой будет характеризовать защищенность направления $\overline{d}$.

Таким образом, чем меньше значение $f(\overline{d})$ тем «безопаснее» пускать мяч в направлении $\overline{d}$. Предлагается найти:

$$\overline{d}^* = \arg\min_{d \in S} f(\overline{d}) \tag{4}$$

Смысл поиска наилучшего решения состоит в том, чтобы определить может ли робот сделать рассматриваемое действие (ударить по воротам или передать пас) в сложившейся ситуации. Например, если значение $f(\overline{d}^*)$ окажется велико (больше некоторого заранее заданного порога), тогда можно считать, что робот не может сделать рассматриваемое действие и ему нужно действовать по-другому. Также оценка $f(\overline{d}^*)$ полезна, когда робот, владеющий мячом, решает кому передать пас, в таком случае, эта оценка может быть вычислена для всех роботов которым можно передать пас (так как будто у них есть мяч и они собираются ударить по воротам) и из всех возможностей разумно выбрать робота, для которого значение этой оценки минимально.

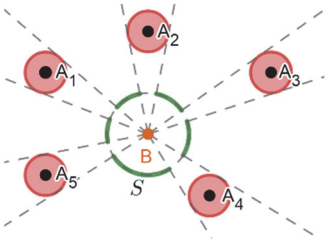


Рис. 2. Демонстрация обозначений. Множество S_g обозначено зеленым цветом

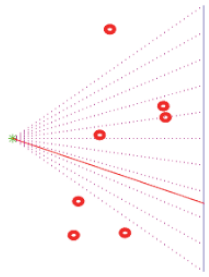


Рис. 3. Демонстрация работы алгоритма

Алгоритм.

1. Выбросим из множества S направления, для которых траектория мяча будет направлена на какого-нибудь робота команды противника. Обозначим полученное множество S_g (рис. 2).

2. Множество S_g разбивается на K непрерывных участков. Можно показать, что на каждом таком участке функция f оказывается унимодальной благодаря свойству (2). Поэтому, методом золотого сечения, на каждом участке можно найти ее минимальное значение. Сделаем это. Получим K кандидатов в решение: $\overline{d}_1, \overline{d}_2, \ldots, \overline{d}_K$.

3. Вычислим ответ $\overline{d}^* = \arg\min_{\overline{d} \in \{\overline{d}_1, \overline{d}_2, \ldots, \overline{d}_K\}} f(\overline{d})$

Апробация алгоритма.

Описанный алгоритм был реализован для случая, когда скорость мяча и робота предполагаются постоянными. Обозначим u – скорость мяча, v – скорость роботов, $k = \frac{u}{v}$. Предполагаем, что $k > 1$. Функции удобства были взяты следующими:

$$f_r(\overline{d}) = \max_{P \in G(\overline{d})} \{\rho(B,P) - k \cdot \rho(A_r,P)\} \tag{5}$$

где ρ – Евклидова метрика. Можно показать, что функции (5) обладают свойством (2).

Этот алгоритм был использован в качестве вспомогательного алгоритма атаки ворот, для вычисления оптимального направления для удара (рис. 3).

Стоит отметить, что представленный алгоритм позволяет адаптивно подбирать параметр k, что полезно в игре против неизвестного противника.

Заключение. Описанный в работе алгоритм был использован для записи квалификационного видео [7] и подготовки документа описания команды URoboRus [8] при подаче заявки на

участие в финале RoboCup SSL, который был запланирован на 2020 год, но перенесён в связи с напряженной эпидемиологической обстановкой на 2021 год.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://robocup.org/
2. https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2019/03/2019_TDP_URoboRus.pdf
3. https://www.youtube.com/watch?v=W6JNIaXGRRk
4. **Коновалов П.А., Корнилова А.В., Королев Д.М., Ренева Г.В., Фрадков А.Л., Широколобов И.Ю., Ярош Д.С.** Команда роботов-футболистов для соревнований RoboCup в лиге SSL: система и алгоритмы. Информационно-управляющие системы, 2019, № 2, с. 19-25
5. **Iarosh D., Reneva G., Kornilova A. and Konovalov P.** "Multiagent System of Mobile Robots for Robotic Football," *2019 26th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS)*, Saint Petersburg, Russia, 2019, pp. 1-3, doi: 10.23919/ICINS.2019.8769365
6. https://ssl.robocup.org/rules/
7. https://www.youtube.com/watch?v=Ph_ohcxli1M
8. https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2020/03/2020_TDP_RoboRus.pdf

P.A. Konovalov (Saint Petersburg State University, St. Petersbug)

Algorithm for Making an Optimal Decision in a Complex Dynamic Environment for the Football Robots Team

To participate in the international RoboCup football competitions in the Small Size League, an algorithm for making the optimal decision in typical robot football conditions was developed.

С. А. ПЛОТНИКОВ, Д. М. СЕМЕНОВ, М. ЛИПКОВИЧ, А. Л. ФРАДКОВ
Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ ГИБРИДНОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ НЕЙРООБРАТНОЙ СВЯЗИ

В данной работе представлено описание программно-аппаратного комплекса НС-1, расположенного в ИПМаш РАН, для исследования систем гибридного интеллекта на основе нейрообратной связи. Описывается как аппаратная часть комплекса, так и основные блоки программ, разработанных в ИПМаш РАН.

Введение. В начале 21 века начала активно развиваться сфера коллаборативной робототехники. Коллаборативный робот или кобот – автоматическое устройство, выполняющее различные задачи совместно с человеком, например, производство какой-либо продукции. Широко распространенные ранее промышленные роботы запрограммированы выполнять различные операции без человека. Они могут угрожать здоровью и жизни человека, поэтому они устанавливаются в специальных местах, чтобы не подвергать опасности людей. Коботы, в свою очередь, работают с человеком, поэтому они оснащены датчиками, контролирующими положение человека. Актуальной задачей является обеспечение продуктивного и безопасного взаимодействия между человеком и машиной для решения ряда задач. Таким образом, возникает понятие гибридного интеллекта, т. е. интеллекта, объединяющего возможности интеллекта естественного (человека) и искусственного (машины). Для обеспечения взаимодействия двух типов интеллекта может применяться аппарат нейрообратной связи, который заключается в следующем: электроэнцефалограф и другие вспомогательные устройства регистрируют биоэлектрические потенциалы на коже головы человека, которые обрабатываются программой в режиме онлайн и предъявляются в удобной для человека форме на экране с целью их регулирования или передаются машинам для управления ими [1].

Описание комплекса. В данной работе описывается программно-аппаратный комплекс НС-1, расположенный в ИПМаш РАН и позволяющий человеку управлять подвижными объектами, используя парадигму нейрообратной связи, то есть управлять ими, изменяя активность мозга.

Экспериментальная установка. Экспериментальный комплекс НС-1 имеет в своем составе два электроэнцефалографа. Первый – мобильный электроэнцефалограф Мицар-ЭЭГ-SmartBCI на 32 канала с системой позиционирования электродов Electro-Cap USA с акусессуарами [2]. Второй – стационарный электроэнцефалограф Нейровизор 136 на 136 каналов [3]. Также имеются мобильные роботы, собранные из конструкторов ТРИК [4] и LEGO Mindstorms NXT [5], зарядные устройства и вспомогательное оборудование. Подробное описание стенда можно найти на сайте ИПМаш РАН в разделе «Структура института-объекты инфраструктуры» [6]. Внешний вид экспериментальной установки НС-1 и ее структура представлены на рис. 1 и 2, соответственно.

Рис. 1. Экспериментальная установка НС-1

Для проведения экспериментов с использованием стенда НС-1 в определенных местах на голове субъекта размещаются небольшие электроды с помощью шапочки. Для обеспечения качественного контакта электродов с кожей головы используется электропроводящий гель (УНИМАКС). Голова должна быть очищена перед экспериментом, что обеспечивает хороший контакт электродов с кожей головы для получения высококачественной записи электроэнцефалограммы. Электроэнцефалографы подключаются к компьютеру через USB-кабель или Bluetooth, соответственно. Для получения данных из электроэнцефалографа используется специальное программное обеспечение, которое преобразует сигналы в поток LSL (Lab Streaming Layer). Для электроэнцефалографа Mitsar-EEG-SmartBCI используется

программное обеспечение LSLSmartBCI, а для электроэнцефалографа Нейровизор-136 – программное обеспечение NeoRec. Далее можно использовать программное обеспечение, разработанное в ИПМаш РАН [7, 8], для регуляции ритмов головного мозга, например, с целью управления подвижными объектами, с использованием преобразованного сигнала от электроэнцефалографа.

Структура программного обеспечения. Представленное программное обеспечение было разработано в среде MATLAB [9] и состоит из пяти основных блоков: получение сигнала электроэнцефалограммы (ЭЭГ), частотная фильтрация, пространственная фильтрация, адаптивная оценка параметров модели и формирование управляющих сигналов (рис. 2).

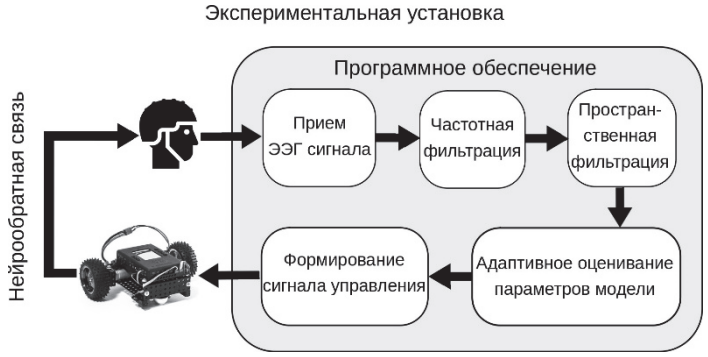


Рис. 2. Схема экспериментальной установки и программного обеспечения

Блок приема сигнала ЭЭГ используется для передачи электрических потенциалов от электродов электроэнцефалографа к компьютеру, который является программным обеспечением сторонних производителей, описанным выше.

Принятый сигнал ЭЭГ передается на блок частотной фильтрации. Целью этого блока является выделение сигнала в интересующей полосе частот. Например, для управления движением робота может быть использован сенсомоторный ритм, которому соответствует полоса частот 8–13 Гц. Для этого используется фильтр Баттерворта четвертого порядка.

Модуль пространственной фильтрации основан на алгоритме Common Spatial Pattern (CSP), который позволяет локализовать источник сигнала. Алгоритм основан на решении обобщенной задачи на собственные значения [10], образованной парой автокорреляционных матриц для двух различных сопоставимых условий.

Следующий блок называется адаптивным оцениванием параметров модели. Разработка методов расчета сигналов адаптивной обратной связи, которые корректируют параметры правил применительно к конкретному предмету, является актуальной проблемой. Правила для расчета количественных параметров ЭЭГ, используемых далее для формирования сигнала нейрообратной связи, зависят от большого числа параметров, таких как, например, длина временного окна обработки данных или величина задержки при предъявлении управляющего воздействия. Индивидуальный подбор значений этих параметров также может повысить эффективность обучения [11]. После этого управляющий сигнал генерируется путем сравнения модели и результатов алгоритма CSP в блоке генерации управления.

Далее строятся алгоритмы управления, которые передаются роботу, или информация о параметрах сигналов выводится на экран в удобном для человека виде с целью их дальнейшего регулирования, тем самым образуя замкнутой контур нейрообратной связи. Во время записи и фильтрации сигнала происходит процесс обучения человека, с целью определения моторной области коры головного мозга, отвечающей за движения правой или левой рукой. Записанный сигнал можно рассматривать как «эталонный» и сравнивать его с другими сигналами.

Заключение. В работе было представлено описание программно-аппаратного комплекса НС-1, расположенного в ИПМаш РАН и позволяющего осуществлять исследование систем гибридного интеллекта на основе нейрообратной связи. Описание включает в себя как аппаратную часть, так и разработанные программы. В дальнейшем планируется доработка программной части, а именно включение новых блоков. Например, будет разработан блок классификации сигналов ЭЭГ на основе методов глубокого обучения. Так же будут усовершенствованы блоки управления подвижными объектами. Новые алгоритмы управления

будут являться комбинацией известных алгоритмов теории управления и алгоритмов нейрообратной связи.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 19-08-00865.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sitaram L., Ros T., Stoeckel L., Haller S., Scharnowski F., Lewis-Peacock J., Weiskopf N., Blefari M.L., Rana M., Oblak E., Birbaumer N., Sulzer J. Closed-loop brain training: the science of neurofeedback. *Nature Reviews Neuroscience*. 2017. Vol. 18. № 2. P. 86-100.
2. https://mitsar-eeg.com
3. https://mks.ru/index
4. https://trikset.com
5. https://www.lego.com/en-us
6. http://www.ipme.ru/ipme/ru/indexr.html
7. Осадчий А.Е., Сметанин Н.М., Плотников С.А. Среда для проведения тренинга в парадигме нейрообратной связи. Свидетельство о государственной регистрации ПрЭВМ, рег. №2018611760 от 06.02.2018. Москва: Роспатент. 2018.
8. Степаненко Д.А., Семенов Д.М., Плотников С.А., Фрадков А.Л. Программный комплекс для реализации нейрообратной связи: модуль обработки сигнала ЭЭГ. Свидетельство о государственной регистрации ПрЭВМ, рег. №2019610034 от 09.01.2019. Москва: Роспатент. 2019.
9. https://www.mathworks.com
10. Koles Z.J., Lazaret M.S., Zhou S.Z. Spatial patterns underlying population differences in the background EEG. *Brain Topogr.* 1990. Vol. 2. P. 275-284.
11. Овод И.В., Осадчий А.Е., Пупышев А.А., Фрадков А.Л. Формирование нейрообратной связи на основе адаптивной модели активности головного мозга. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение.* 2012. № 2. С. 36-41.

S.A. Plotnikov, D.M. Semenov, M. Lipkovich, A.L. Fradkov (Institute for Problems of Mechanical Engineering RAS, St. Petersburg)

Software and Hardware Benchmark for Studying Hybrid Intelligent Systems based on Neurofeedback

This paper presents a description of the NS-1 hardware and software benchmark, located in IPME RAS, for the study of hybrid intelligence systems based on neurofeedback. Paper describes both the hardware part of the complex and the crucial units of software developed in IPME RAS.

С. П. ЛЕВАШКИН, О. И. ЗАХАРОВА
НИЛ ИИ-ПГУТИ, ФГБУ ВО, Самара

С. В. КУЛЕШОВ, А. А. ЗАЙЦЕВА
ЛАНИ-СПИИРАН, СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург

АДАПТИВНО-ПОВЕДЕНЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОРОНАВИРУСНОЙ ЭПИДЕМИИ И ЕЕ ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Предлагаемый доклад посвящен описанию системного подхода к исследованию новой модели распространения пандемии COVID-19, который имеет конечной целью минимизацию привносимого ею экономического ущерба за счет выбора оптимальных управленческих параметров модели. Наш подход состоит из двух основных частей: 1) адаптивно-поведенческой модели распространения эпидемии, которая является обобщением классической модели SEIR и 2) модуля настройки параметров этой модели методами искусственного интеллекта (сбор, хранение и обработка данных из гетерогенных источников, которые позволяют наиболее точно настраивать параметры нашей модели, превращая ее в интеллектуальную систему для поддержки принятия управленческих решений). Среди параметров модели наиболее важными являются индивидуальные экономико-демографические и психологические характеристики общества и действия властей.

Введение. Сегодня весь мир столкнулся с пандемией COVID-19, которая, по всей вероятности, будет иметь долгосрочные последствия для экономики государств и общества в целом. Данную ситуацию однозначно можно рассматривать как серьезную биогенную угрозу, которая наносит ощутимый ущерб социально-экономическим системам, государственным образованиям и обществу. При этом сверхактуальными научными задачами являются коррекция существующих и разработка новых математических моделей распространения эпидемий и методов цифрового мониторинга не только темпов распространения вируса, но и социально-экономической среды. И те, и другие должны отражать современные реалии и как можно точнее представлять, как саму биогенную угрозу, так и ее последствия. Поэтому своевременный мониторинг экономических, психологических и иных социальных процессов, протекающих внутри такой среды, позволит принимать более оптимальные управленческие решения и минимизировать последствия пандемии за счет более точной настройки прогнозной модели.

Предлагаемый доклад посвящен описанию гибридной модели распространения вирусных заболеваний, сочетающую методы машинного обучения, интеллектуального анализа данных и теории сложных систем. Отталкиваясь от хорошо известной модели распространения эпидемий SEIR [1] мы ее существенно модифицируем, вводя в нее новые процессы и параметры, которые более точно отражают современные реалии (эта новая модель называется адаптивно-поведенческой или ACM-SEIR). Затем эта модель дополняется системой комплексного мониторинга социальных явлений, нацеленных на минимизацию привносимого ею ущерба (таким образом формируется наш конечный продукт – интеллектуальная адаптивно-поведенческая модель или iACM-SEIR для поддержки принятия управленческих решений).

Научная новизна предлагаемого исследования обусловлена:

1) интеграцией системы мониторинга и модели распространения вирусных эпидемий;

2) выбором в качестве источников для уточнения параметров моделей неструктурированных данных на неограниченном наборе ресурсов, а не ограниченного набора предопределенных интернет-источников;

3) выявлением слабо прогнозируемых реакций общества на те или иные события, выраженные Интернет контентом с использованием методов машинного обучения.

Адаптивно-поведенческая модель эпидемии. За основу модели распространения эпидемии берется модель «восприимчивый к заражению-подверженный воздействию-зараженный-удаленный» (англ. Susceptible-Exposed-Infectious-Removed: SEIR) с общим размером популяции N и с двумя дополнительными классами (i) «D», имитирующими общественное восприятие риска в отношении числа тяжелых и критических случаев и смертей; и (ii) «C», представляющими количество кумулятивных случаев (как зарегистрированных, так и не зарегистрирован-

ных). Пусть S, E и I обозначают восприимчивые, подверженные и заразные группы населения, а R обозначает удаленную группу (то есть выздоровевших или умерших). В модели определятся степенная функция скорости реакции властей или «эффект от действий правительства». Передача инфекции внешними носителями (зоонозная передача), обозначаемая как F, моделируется как ступенчатая функция, которая принимает нулевое значение после некоторой даты с начала эпидемии. Далее моделируется только устойчивая передача COVID-19 от человека к человеку после этой даты и мобильность населения до того, как был объявлен режим самоизоляции. Таким образом, адаптивная поведенческая модель (англ. Adaptive Compartmental Model: ACM) ACM-SEIR формулируется в виде системы 7 сильно нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) для определения основных переменных S, E, I, R, N, D, C, z (z – переменная, отвечающая за силу воздействия правительственных органов) их начальных условий, а также множества параметров, подлежащих определению и настройке. Заметим, что, помимо введения новых параметров и функций, базовая модель ACM-SEIR допускает обобщение за счет добавления в систему новых уравнений для других процессов типа S, E, I, R и т.д. Кроме того, для модели количество уравнений системы и количество ее параметров не являются критичными. Модель ACM-SEIR, будучи максимально приближенной к реальному процессу, не имеет ни аналитического, ни сколько-нибудь легко определяемого численного решения. Поэтому, для качественного исследования модели используется подход, основанный на методах глубокого обучения. Суть этого подхода заключается в следующем. Сначала решение системы ОДУ записывается в виде суммы двух частей. Первая часть удовлетворяет начальным условиям и не содержит настраиваемых параметров. Вторая часть построена так, чтобы не влиять на начальные условия. Эта часть включает в себя искусственную нейронную сеть с прямой связью, содержащую настраиваемые параметры (веса). Таким образом, по построению начальные условия удовлетворяются, и сеть обучается, чтобы удовлетворять поставленной задаче в целом. Причем, при вычислении решения, шаг за шагом минимизируется некая «функция потерь» (решение будет «точным», если эта функция равна 0). Заметим, что для оптимизации процесса вычисления можно заменять на нейронную сеть не все правые части уравнений, а только их нелинейные части, которые доставляют наибольшие проблемы (по сути речь идет об обучении на множестве временных рядов).

Определение и настройка параметров модели. Для настройки параметров и функций модели используются методы искусственного интеллекта на основе цифрового мониторинга Интернет пространства [2], в частности, мониторинга психологического состояния общества, оценки свойств и состояний людей по текстам. Основными параметрами модели ACM-SEIR являются: {начальная численность рассматриваемой популяции $N0$ (константа); начальные восприимчивые, подверженные, заразные и удаленные популяции – $S0$, $E0$, $I0$, $R0$ (константы); количество зоонозных случаев F (ступенчатая функция); скорость передачи $z0$ (ступенчатая функция); правительственная сила действия a (ступенчатая функция); интенсивность реакции населения k (константа); уровень мобильности m (ступенчатая функция); средний латентный период $1/s$ (константа); средний инфекционный период $1/g$ (константа); доля тяжелых случаев d (константа); средняя продолжительность общественной реакции $1/l$ (константа)}. Также элементом настройки параметров модели является анализ настроений – инструмент классификации текста, который анализирует входящее сообщение и определяет, является ли реакция автора по теме сообщения положительной, отрицательной или нейтральной [3, 4, 5]. Анализ настроений может быть дополнен анализом намерений, который анализирует намерения пользователя, стоящие за сообщением, и выявляет, относится ли оно к мнению, новости, действию, жалобе, предложению, оценке или запросу. Эти два вида анализа дополняются контекстным семантическим поиском, который принимает тысячи сообщений и концепт (например, «COVID-19») в качестве входных данных и фильтрует все сообщения, которые точно соответствуют данному концепту. Наконец, полученные результаты оформляются в виде статистических отчетов и визуализируются в виде графических чартов для отражения картины состояния и настроения пользователей по той или иной проблеме и помогают провести тюнинг параметров модели [6, 7].

Заключение. В докладе представлена гибридная модель интеллектуальной адаптивно-поведенческой модели распространения короновирусной эпидемии и показана возможность оптимизации привносимого ею экономического ущерба за счет точной настройки параметров

модели. Принятие реальных решений на предотвращение/смягчение угроз требует, чтобы проигрывалось множество возможных вариантов с относительно несложным аппаратом интерпретации, за небольшой отрезок времени. Поэтому мы используем сочетание современных технологий машинного обучения, искусственного интеллекта и методов системной динамики. Такой подход позволяет справиться с основными трудностями поставленной задачи, а именно: 1) будучи реальным феноменом, задача содержит очень большое число параметров, которые, в конце концов, необходимо учесть, чтобы сделать модель как можно более приближенной к реальным процессам; 2) ожидаемая размерность пространства данных, необходимая для достижения той же цели, весьма высока, а количество данных велико. Эти два обстоятельства делают практически неприменимым традиционный математический аппарат статистического анализа, регрессий, сеточных супервычислений и т.п. Однако современные методы глубокого обучения, интеллектуального анализа данных и облачных вычислений, позволяют справиться с многофакторностью задачи, «проклятием размерности» и большим количеством данных необходимых для реалистичной настройки модели. Заметим также, что рассматриваемая задача носит комплексный междисциплинарный характер и связана с разработкой методологии, инструментов и технологий повышения эффективности государственного управления в кризисных ситуациях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-60455

ЛИТЕРАТУРА

1. **van den Driessche P.** Reproduction numbers of infectious disease models. *Infect Dis Model*. 2017 Jun 29. Vol 2(3). P. 288-303. doi: 10.1016/j.idm.2017.06.002
2. **Kuleshov S.V., Zaytseva A.A., Aksenov A.J.** The tool for the innovation activity ontology creation and visualization. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham, 2019. Vol. 763. pp. 292-301
3. **Raghavendra T. S., Mohan K. G.** Web mining and minimization framework design on sentimental analysis for social tweets using machine learning. *Procedia Computer Science*. 2019. Т. 152. P. 230–235.
4. **Patel N. V., Chhinkaniwala H.** Investigating Machine Learning Techniques for User Sentiment Analysis. *International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST)*. 2019. Т. 11. №. 3. P. 1–12.
5. **Priya C., Santhi K., Vincent P. M. D.** Provision of Efficient Sentiment Analysis for Unstructured Data. *Information Systems Design and Intelligent Applications*. Springer, Singapore, 2019. P. 199–207.
6. **John C. A.** Using Twitter to measure behavior patterns. *Epidemiology*. 2012. Iss. 23. Vol. 5. P. 764-765.
7. **Аверкин А.Н., Соболев С.В., Воронцов А.О.** Сравнение различных техник анализа эмоций для решения задачи визуализации индекса настроения. *Мягкие измерения и вычисления*. 2019. №. 11. С. 30-34.

S.P. Levashkin, O.I. Zakharova (LAI-PSUTI, Samara), S.V. Kuleshov, A.A. Zaytseva (LANI-SPIIRAN, SPCRAS, St.-Petersburg)

Adaptive-compartmental Model of Coronavirus Epidemic and its Optimization by the Methods of Artificial Intelligence

In this report, we describe a systemic approach to the study of a new model of COVID-19 pandemic that has the main goal to minimize its economic damage by defining the optimal model parameters. Our approach consists of two main parts: 1) the adaptive-compartmental model of the epidemic (ACM-SEIR) that is a generalization of the classical SEIR model, and 2) the module to tune the ACM-SEIR parameters using artificial intelligence methods (collection, storage and processing of big data from heterogeneous sources that allow the most accurate tuning of the parameters of the ACM-SEIR model and turning it into an intelligent iACM-SEIR system for decision support). Among the parameters of the model, the most important are the individual economic, demographic and psychological characteristics of society and the governmental actions.

Р. Е. СПИРИДОНОВ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

RESTRICTED MOVE – ЯЗЫК ОПИСАНИЯ СМАРТ-КОНТРАКТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ АКТИВАМИ НА ОСНОВЕ БЛОКЧЕЙН-ПЛАТФОРМЫ DFINANCE

Создание смарт-контрактов для выпуска токенов или управления другими цифровыми финансовыми активами в абсолютном большинстве существующих блокчейн платформ требуют знаний программирования на специфичном для конкретной платформы языке, что накладывает ограничение по привлечению финансовых специалистов с классических рынков.

В данной работе представлена концепция языка Restricted Move, позволяющего формировать описание смарт-контракта на финансовом английском языке, а также его дальнейшее развитие в расширяемый пользователями высокоуровневый язык управления цифровыми активами.

Введение. Впервые смарт-контракты были реализованы в блокчейн платформе Ethereum, как компилируемые в байт-код функции для EVM, сохраняемые внутри цепочки блоков и позволяющие выполнять различные действия по созданию пользовательских токенов [1]. Но ввиду сложности по их созданию – написание смарт-контрактов до сих пор остаётся недоступно широкому классу пользователей, ввиду сложности их организации, требования специфичных средств разработки и особенностей по их отладке. Отдельной проблемой стоит необходимость учитывать ряд задач по обеспечению должного уровня безопасности смарт-контрактов от взлома злоумышленниками с целью хищения средств или компрометации доступа к другим кошелькам. Также стоит обратить внимание на замкнутость блокчейн платформ внутри себя и на отсутствие их совместимости друг с другом в большинстве случаев, что делает невозможным выполнение операций между разными сетями без участия посредника, который не автоматизирован и требует человеческого участия.

Из всех вышеуказанных проблем вытекает необходимость в создании нового языка, доступного широкому классу пользователей, знакомым с финансовыми рынками и осознающими все возможности современных финансовых инструментов при их переложении в мир крипто валют и автоматизированного управления цифровыми активами. В качестве основы для такого языка предлагается выделение языка Restricted Move и его реализация в блокчейн платформе DFinance.

Требования к языку. Как и в любом высокоуровневом языке в Restricted Move можно выделить элементы языка: алфавит, синтаксис и правила оформления программы; организацию действий над данными: ввод-вывод данных, а также набор выражений для работы с данными; организацию самих данных. Но весь привычный набор, характеризующий язык программирования, в данном случае проблематичен к выделению, ввиду внешней простоты и близости по семантике к фразам описания финансовых инструментов на английском языке, а также из-за наличия неопределённости о размере всего множества элементов языка – язык должен иметь возможность дополняться новыми фразами и возможностями.

Рассмотрим несколько примеров описания, создающих новые токены, на финансовом английском языке:

Create 1 non-fungible Token as an American Call Option contract, representing 1 Nike Jordan Air, expiring November 30th.

Create 100 Tokens as an American Put Option contract, representing 100k USD each, balanced with 50% S&P, 25% European Sovereign Debt, 15% BTC and 10% Real Estate, not expiring.

В подобных примерах можно выделить типовые конструкции подзапросов, определяющих параметры создаваемого инструмента, а всю последовательность таких конструкций можно формализовать в виде последовательного вызова функций с указанием для них аргументов.

Для большего подобия естественным языкам следует позволить нарушать стандартную последовательность описания, обеспечив возможности по началу описаний с разных его частей, например, сначала описать ряд ограничений инструмента, а затем сам создаваемый инструмент.

Дополнительным требованием к Restricted Move является хранение всей структуры языка внутри цепочки блоков. Из этого требования вытекает ряд ограничений и возможностей по синтаксису языка. Например, при обновлении версий языка будет автоматически обеспечиваться обратная совместимость с предыдущими версиями.

Структура языка. Все части описания можно разделить на несколько видов блоков (*Nodes*): управляющие потоком вызовов функций – *Flow*, а также непосредственного заполнения данных для создаваемых инструментов – *Data*. Все блоки совместимы друг с другом, если не указаны дополнительные ограничения по их сочетанию друг с другом, помимо этого, целиком в запросе могут присутствовать взаимоисключающие вызовы, которые не должны находиться одновременно в одном смарт-контракте, что также необходимо предусмотреть в структуре данных каждого из блоков.

Data Nodes – узлы для заполнения данных в смарт-контракт. Возможны следующие варианты: ввод строки, ввод числа, выбор из списка значений, ввод даты. При этом у каждого из приведённых типов узлов могут быть указаны свои ограничения, добавляющие проверку введённых значений и накладывающие требования на их ввод.

Flow Nodes – узлы для управления потоком формирования смарт-контрактов. В простейшем варианте языка, достаточно двух видов узлов для последовательного и параллельного вызова следующих за ними блоков *Nodes*. Но для упрощения итоговых внутренних конструкций, также необходимо ввести тип потокового узла – множество, который является аналогом последовательного заполнения запроса, но не накладывает ограничений на следование начальному порядку перечисленных внутри него блоков. Так как в описаниях смарт-контрактов могут существовать аргументы, которые можно опустить и не указывать полностью, то и параллельный вызов следует также доработать, с помощью ввода в этот вид блока параметра *optional*, сигнализирующий о необязательности заполнения информации в элементы внутри этого блока.

Structure Nodes – узлы, определяющие структурные единицы для описания функций и последовательностей вызовов других блоков. По сути, каждый новый контракт будет являться *Structure Node*, описывающий череду вызовов других контрактов с указанием информации об их аргументах.

Заключение. Задача по созданию специального языка описания управляющих и декларативных смарт-контрактов для финансовой отрасли с хранением структур языка и предоставления возможности по его расширению из новых блоков с вызовами смарт-контрактов решаема. Перспективы развития подобного средства не ограничиваются текущим синтаксисом и позволяют предусмотреть дальнейшее развитие языка с добавлением в него блоков с интеллектуальным распознаванием фраз и разбором на вызовы отдельных языковых структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vitalik Buterin. Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform. 2013. URL {https://ethereum.org/en/whitepaper/}.

R.E. Spiridonov, (SPbETU “LETI”, St. Petersburg)

Restricted Move – Smart Contract Describing Language for Creating and Controlling of Financial Actives on DFinance Blockchain Platform

Smart contracts creation to issue tokens and to control of other digital financial actives mostly on all blockchain platforms require knowledge of programming language of specific platforms. This fact imposes a restriction on attracting financial specialists from classical markets.
In this paper the concept of Restricted Move language is presented. It allows users to form a smart contract description on financial English, as well as its further development into a high-level digital assets management language, which can be extended by users themselves.

Секция 4

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Л. М. ЯКОВИС
СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург

АДАПТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ С ТИПОВЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Доклад посвящен исследованию задачи параметрической идентификации управляемых динамических систем в режиме их нормальной эксплуатации с помощью модели с настраиваемыми параметрами. Рассмотрена задача определения параметров идентифицирующих воздействий, обеспечивающих заданную точность идентификации. Особенность работы заключается в придании процедуре идентификации адаптивных свойств, что позволяет свести к минимуму негативный эффект «раскачки» управляемого объекта при подаче на него специальных идентифицирующих воздействий.

Введение. Эффективная работа систем промышленной автоматики требует расчета параметров регулирующих устройств. Для такого расчета необходима математическая модель объекта управления (ОУ). Определение параметров математических моделей по данным эксплуатации ОУ является предметом задач параметрической идентификации. Для многих технологических процессов (ТП) (старение катализаторов в химической технологии, износ мелющих тел в измельчительных агрегатах, изменение слоя обмазки во вращающихся печах) параметры моделей неконтролируемым образом изменяются во времени в широких пределах. Данное обстоятельство приводит к необходимости текущей идентификации ОУ с целью перестройки параметров регуляторов. Регулирующие контроллеры ведущих фирм оснащаются функциями идентификации ОУ и самонастройки, однако эти функции не находят широкого применения на практике. Основная причина заключается в сложности для обслуживающего автоматику персонала определение рациональных параметров системы идентификации. Перспектива решения проблемы состоит в разработке надежных методов автоматического расчета параметров систем идентификации. С учетом современных тенденций такие методы могут быть ориентированы на применение имитационного компьютерного моделирования и численной оптимизации. В основу данного исследования положен метод идентификации с использованием настраиваемых моделей в варианте, не требующем отключения регулятора [1]. Данный метод был, однако, проверен на работоспособность лишь применительно к следящим системам, в то время как большинство технологических процессов нуждаются в системах стабилизации. В работе рассматривается задача параметрической идентификации в замкнутых системах стабилизации, функционирующих в условиях неконтролируемых случайных возмущений.

Адаптивная идентификация методом настраиваемой модели. Суть метода заключается в том, что по каналу управления кроме воздействий от регулятора $u_{рег}(t)$ на объект подаются также «раскачивающие» воздействия $\lambda(t)$. Одновременно эти же воздействия подаются на вход модели замкнутой системы, которая включает ОУ и регулятор. Сравнивая контролируемый выход реального объекта $y(t)$ с выходом модельного объекта $\hat{y}(t)$, модель настраивают так, чтобы минимизировать разницу между двумя указанными сигналами, мерой которой может служить интегральный показатель

$$J_{ид} = M\{\int_0^{T_{ид}} |y(t) - \hat{y}(t)| dt\},$$

где M – обозначение математического ожидания.

Задача идентификации осложняется тем, что для определения математической модели объекта необходимо вывести его из номинального режима, а для того, чтобы обеспечить нормальный ход процесса, необходимо, наоборот, с помощью системы управления поддерживать его на заданном уровне y^* в условиях действия случайных неконтролируемых возмущений. Посвященная этой проблеме теория дуального управления [2], слишком сложна для практического применения. Рассматриваемая более конкретная задача заключается в том, чтобы определить такие параметры алгоритма формирования идентифицирующих и стабилизирующих воздействий, которые в период проведения идентификации (то есть для $t \in [0, T_{ид}]$) минимизируют «вред» от «раскачивания» объекта управления, обеспечивая вместе с тем приемлемую точность идентификации его модели.

Значения интегрального показателя точности идентификации $J_{ид}$ и интегрального показателя стабильности

$$J_{ст} = M\{\int_0^{T_{ид}} |y(t) - y^*(t)| dt\}$$

определяются совокупностью параметров: объекта управления $\boldsymbol{a}_{об}$, настраиваемой модели объекта управления $\boldsymbol{a}_{мод}$, алгоритма управления $\boldsymbol{a}_{рег}$, идентификационных воздействий $\boldsymbol{a}_{ид}$, вероятностных характеристик неконтролируемых возмущающих воздействий $\boldsymbol{a}_{возм}$. Зависимости $J_{ид} = \varphi_{ид}(\boldsymbol{a}_{об}, \boldsymbol{a}_{мод}, \boldsymbol{a}_{рег}, \boldsymbol{a}_{ид}, \boldsymbol{a}_{возм})$ и $J_{ст} = \varphi_{ст}(\boldsymbol{a}_{об}, \boldsymbol{a}_{мод}, \boldsymbol{a}_{рег}, \boldsymbol{a}_{ид}, \boldsymbol{a}_{возм})$ носят сложный характер и в большинстве случаев не могут быть получены аналитически. С использованием введенных обозначений задача идентификации заключается в определении

$$\boldsymbol{a}^*_{мод} = \arg\min_{\boldsymbol{a}_{мод}} \varphi_{ид}(\boldsymbol{a}_{об}, \boldsymbol{a}_{мод}, \boldsymbol{a}_{рег}, \boldsymbol{a}_{ид}, \boldsymbol{a}_{возм}).$$

Задача минимизации «вреда» от идентификации при условии достижения требуемой точности определения $\boldsymbol{a}_{об}$ при любых $\boldsymbol{a}_{об} \in \boldsymbol{G}_{об}$ и любых $\boldsymbol{a}_{возм} \in \boldsymbol{G}_{возм}$ (где $\boldsymbol{G}_{об}$ и $\boldsymbol{G}_{возм}$ области возможных значений параметров ОУ и возмущений) формулируется как определение параметров $\boldsymbol{a}^*_{рег}, \boldsymbol{a}^*_{ид}$ путем решения задачи нахождения

$$J^*_{ст} = \min_{\mathbf{a}_{ид}, \mathbf{a}_{рег}} \max_{\mathbf{a}_{об} \in \mathbf{G}_{об}, \mathbf{a}_{возм} \in \mathbf{G}_{возм}} \{\phi_{ст}(\mathbf{a}_{об}, \mathbf{a}^*_{мод}, \mathbf{a}_{рег}, \mathbf{a}_{ид}, \mathbf{a}_{возм}) | P(\boldsymbol{\delta}_{ид} \le \bar{\boldsymbol{\delta}}_{ид}) \ge \boldsymbol{\gamma}_{ид},\ P(|y(t) - y^*| \le \Delta) \ge \boldsymbol{\gamma}_{ст}\}.$$

Векторные вероятностные ограничения на максимальную величину относительных погрешностей идентификации представляют собой совокупность скалярных ограничений вида $P(\delta_{ид,j} \le \bar{\delta}_{ид,j}) \ge \gamma_{ид,j}$ для всех компонентов вектора $\boldsymbol{a}_{об}$, причем $\delta_{ид,j} = (a^*_{мод,j} - a_{об,j}) / a_{об,j}$, а близкие к 1 параметры $\gamma_{ид,j}$ определяют допустимые риски нарушения ограничений. Скалярное ограничение требует, чтобы с достаточно высокой вероятностью $\gamma_{ст}$ выходная переменная $y(t)$ отклонялась от заданного значения y^* не более, чем на Δ.

Рассматривались два подхода к решению сформулированной задачи. В первом варианте $\boldsymbol{a}^*_{ид} = const(t)$, и параметры идентифицирующих воздействий $\lambda(t)$ рассчитываются заранее до начала процесса идентификации ОУ на основе имеющейся априорной информации об ОУ и возмущениях. Поскольку данное решение должно обеспечить требуемую точность идентификации при любых $\boldsymbol{a}_{об} \in \boldsymbol{G}_{об}$ и $\boldsymbol{a}_{возм} \in \boldsymbol{G}_{возм}$, то такой способ уместно назвать *робастной идентификацией*. Во втором варианте $\boldsymbol{a}^*_{ид} \ne const(t)$, и параметры идентификационных воздействий $\lambda(t)$ формируются не заранее, а в процессе самой идентификации, то есть с

использованием принципа обратной связи. Этот способ уместно назвать *адаптивной идентификацией*.

Учитывая, что многие ТП представляют собой инерционные процессы с запаздыванием и самовыравниванием, сформулированная задача была рассмотрена на примере ОУ, модель которого соответствует инерционному звену первого порядка с запаздыванием. В ходе работы ТП система должна поддерживать выходную переменную $y(t)$ на заданном уровне y^* в условиях неконтролируемых приведенных к выходу ОУ возмущений $n(t)$.

В этом случае передаточные функции модели ОУ и типового пропорционально-интегрального регулятора задаются выражениями $H(p) = ke^{-p\tau}/(Tp+1)$ и $W(p) = k_p + k_i/p$, а соответствующие вектора параметров имеют вид $\boldsymbol{a}_{об} = [k, T, \tau]^T$ $\boldsymbol{a}_{рег} = [k_p, k_i]^T$.

Пусть область $\boldsymbol{G}_{об}$ задана неравенствами $\underline{k} \le k \le \overline{k}$, $\underline{T} \le T \le \overline{T}$, $\underline{\tau} \le \tau \le \overline{\tau}$. Для неконтролируемых возмущений была принята распространенная модель случайного процесса, формируемого пропусканием непрерывного белого шума единичной интенсивности $\xi(t)$ через инерционное звено, так что $n = \dfrac{c}{(Rp+1)}\xi$ и $\boldsymbol{a}_{возм} = [c, R]^T$. Параметры c и R, определяющие амплитуду и плавность возмущений, считались известными с точностью до интервалов $\underline{c} \le c \le \overline{c}$, $\underline{R} \le R \le \overline{R}$. Эти неравенства определяют область $\boldsymbol{G}_{возм}$. С целью приближения к известному методу разгонных характеристик [3] рассматривалась последовательность чередующихся по знаку «ступенчатых» идентификационных воздействий $\lambda(t) = \lambda \operatorname{sgn}[\sin(\pi t / T_\lambda)]$ с амплитудой λ и длительностью T_λ. Таким образом, $\mathbf{a}_{ид} = [\lambda, T_\lambda, N]^T$, где N – число «ступенек».

Предложенный в качестве субоптимального и исследованный путем компьютерного моделирования в среде Matlab-Simulink алгоритм робастной идентификации предусматривает:
1) построение модели наиболее сильных «остаточных» возмущений $n_{ост}(t)$, то есть отклонений выходной переменной от задания в системе с наиболее сложным для идентификации ОУ $\mathbf{a}_{об} = [\underline{k}, \overline{T}, \overline{\tau}]^T$, который управляется робастным ПИ-регулятором $\mathbf{a}_{рег}^{(роб)} = [k_p = k_i \underline{T}, k_i = 0{,}589 / \overline{k}\,\overline{\tau}]^T$, (настраиваемым в соответствии с [4, 5]) и функционирует в условиях случайных возмущений с параметрами $\boldsymbol{a}_{возм} = [\vec{c}, \vec{R}]^T$; 2) определение амплитуды «ступенек» по правилу $\lambda = \Delta - l\sigma_{ост}$, где параметр l зависит от допустимого риска нарушения ограничений по отклонениям $y(t)$ от задания y^* и обычно находится в диапазоне от 2 до 3; 3) расчет длительности «ступенек» по формуле $T_\lambda = \overline{\tau} + 3\vec{T}$; 4) нахождение поисковым путем с использованием статистического имитационного моделирования количества «ступенек» N, необходимого для достижения требуемой точности идентификации $\overline{\boldsymbol{\delta}}_{ид}$.

Альтернативный алгоритм адаптивной идентификации отличается тем, что перед началом идентификации в течение некоторого времени наблюдается поведение ОУ в системе управления с робастным регулятором $\boldsymbol{a}_{рег}^{(роб)}$ и статистическим путем определяются не экстремальные, а реальные вероятностные характеристики остаточных возмущений. Это позволяет увеличить амплитуду «раскачивающих» воздействий λ, не выводя выходную переменную *y(t)* за допустимые границы. Процесс идентификации делится на две стадии. На первой начальной стадии производится грубая идентификация, когда параметры $\boldsymbol{a}_{ид}^{(нач)}$ определяются по рассмотренной выше схеме при менее жестких требованиях к точности оценки параметров модели ОУ $\overline{\boldsymbol{\delta}}_{ид}^{(нач)} \ge \overline{\boldsymbol{\delta}}_{ид}$. Получение грубых оценок $\boldsymbol{a}_{мод}^{(нач)}$ позволяет уменьшить размеры исходной области неопределенности $\boldsymbol{G}_{об}$ до меньшей величины $\boldsymbol{G}_{об}^{(нач)} \subset \boldsymbol{G}_{об}$. Благодаря этому на втором этапе

идентификации удается рассчитать параметры заключительной серии $\boldsymbol{a}_{ид}^{(закл)}$, как правило, обеспечивающие значительное уменьшение показателя $J_{ст}$.

Заключение. Предложенные методы формализованного определения параметров идентификационных воздействий при их развитии могут позволить расширить область применения функций самонастройки типовых промышленных регуляторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Репин А.И., Смирнов Н.И., Сабанин В.Р.** Идентификация и адаптация САР с использованием эволюционных алгоритмов оптимизации. *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2008, №3, с. 31–35.
2. **Фельдбаум А.А.** Основы теории оптимальных автоматических систем: М., Физматгиз., 1963. 552 с.
3. **Эйкхофф П.** Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 683 с.
4. **Яковис Л.М.** Простые способы расчета типовых регуляторов для сложных объектов промышленной автоматизации. *Автоматизация в промышленности.* 2007. № 6, с. 51–56.
5. **Яковис Л.М., Доронина Н.А.** Учет характера параметрической неопределенности динамической модели при расчете робастных регуляторов для объектов с самовыравниванием. Материалы конференции «*Информационные технологии в управлении*» (ИТУ-2018). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018. С. 373–383.

L.M. Yakovis (Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg)

Adaptive Identification of Control Objects in Systems with Standard Controllers

The report is devoted to the study of the problem of parametric identification of controlled dynamic systems in their normal operation mode using a model with adjustable parameters. The task of determining parameters of test signals providing the specified accuracy of identification is considered. The peculiarity of the work consists in imparting adaptive properties to the identification procedure, which makes it possible to minimize the negative effect of "swinging" of the controlled object on its output when special test signals applied.

И. В. БЫЧКОВ, Г. М. РУЖНИКОВ, Р. К. ФЁДОРОВ, А. К. ПОПОВА
Институт динамики систем и теории управления имени В. М. Матросова СО РАН, Иркутск

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Лес важнейший природный ресурс Байкальской природной территории (БПТ), обеспечивающий устойчивое развитие экологической системы озера Байкал, выполняющий водоохранные, почвозащитные и водорегулирующие функции. Рассмотрены вопросы перехода на новый технологический уклад - создание цифровой платформы мониторинга леса для поддержки его рационального использования.

Введение. Байкальская природная территория включает озеро Байкал, его водоохранную зону, водосборную площадь в пределах территории Российской Федерации, прилегающие особо охраняемые природные территории, а также прилегающую к озеру территорию шириной до 200 километров на запад и северо-запад от него [1, 2]. Лесные ресурсы, являются комплексным биосферным ресурсом, обеспечивающим стабилизацию и оптимизацию природной среды БПТ [3]. На территории прибрежной полосы оз. Байкал, по учету лесного фонда, леса занимают почти 3900,7 тыс. га. [4].

Комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды в РФ осуществляются в рамках государственного экологического мониторинга (государственный мониторинг окружающей среды) [1], важной частью которого является мониторинг лесных ресурсов, в который информация поступает из государственного лесного реестра, статистических отчетов, данных инвентаризации лесов, лесных планов субъектов РФ, лесохозяйственных регламентов лесничеств, актов лесопатологических обследований, данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [5–7]. Результаты мониторинга публикуются в виде ежегодного отчета, содержащего аналитическую информацию, таблицы данных, схемы, тематические карт-схемы.

Информация о состоянии лесов хранится в следующих информационных системах:

- автоматизированная информационная система «Государственный лесной реестр»;
- единая государственная автоматизированная информационная система учёта древесины и сделок с ней;
- информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров;
- единый государственный фонд данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении (ЕГФД);
- геопортал «Рослесинфорг» (Интерактивная карта «Леса России) и др.

На Байкальской природной территории ведение подсистем государственного мониторинга лесов возложено на региональные филиалы ФБУ «Рослесозащита» [8] – «Центр защиты леса Иркутской области», «Центр защиты леса Забайкальского края» и «Центр защиты леса Республики Бурятия» [9, 10], а так же региональные органы власти [11–15], которые проводят регулярные и выборочные наземные и дистанционные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов, популяциями вредных организмов, оценивают общее состояние лесов.

Научный мониторинг лесов Сибири и, в том числе БПТ, поддерживают учреждения Минобрнауки [16]. Исследования в институтах СО РАН охватывают проблемы оперативного выявления пожаров и вырубок по снимкам ДЗЗ, прогнозирования направления распространения огня в лесу, обнаружения и картографирования антропогенных воздействий на лес, анализа динамики продуктивности древостоя, оценки воздействия климатических факторов, вычисления объемов стока углерода и т. д.

Для территорий БПТ, на которых затруднен мониторинг санитарного и лесопатологического состояния леса наземными методами (горные склоны Восточных Саян, северные территории и т. д.), используются системы дистанционного зондирования.

Среди значимых экологических проблем лесных ресурсов БПТ следует выделить:

- снижение запасов лесного фонда БПТ из-за лесопатологии, нелегальной заготовки древесины и пожаров, которые наносят ощутимый вред экономике и экологии;

- рост эпидемиологического поражения хвойных пород деревьев таежных массивов;
- отсутствие последовательной системы лесовосстановления и ухода за лесами, что приводит к истощению ресурса и освоению новых территорий.

В свою очередь, особенностью мониторинга состояния лесных ресурсов БПТ является:

- множественность участников мониторинга, а также локализованность ведомственных схем наблюдений, территориальная распределённость программно-аппаратных комплексов систем мониторинга леса;
- формирование больших объёмов пространственно-временных данных мониторинга леса, которые не скоординированы между собой, в параметрическом, хронологическом и других аспектах;
- различные виды хранения (в бумажном, цифровом) и разноформатность данных мониторинга, а также использование систем координат, отличных от местной в проектной документации и лесоустроительных планшетах;
- отсутствие единой системы хранения пространственно-временных данных мониторинга, содержащей достоверные данные о качественных, количественных и стоимостных характеристиках лесного фонда, а также интегрированной информационной системы оценки лесных ресурсов БПТ (состав, вырубки, пожары, возобновления лесов, лесопатологическая оценка и т. д.);
- низкая актуализация официальной лесоустроительной информации о лесах (средний возраст материалов лесоустройства в России составляет 23 года);
- слабая оперативность и ограниченность доступа к данным мониторинга, что осложняет принятие управленческих решений, а также проведение междисциплинарных научных исследований.

Это обосновывают актуальность перехода на новый технологический уклад – организацию цифрового экологического мониторинга лесов БПТ, что предполагает внедрение цифровых платформ (ЦП), киберфизических систем, интеграцию сенсоров и датчиков в оборудование, замену физических или аналоговых ресурсов цифровыми данными, также переход на цифровой способ связи, записи и передачи данных с помощью цифровых устройств [17–19].

Цифровая платформа. ЦП – это открытая система алгоритмизированного сетевого взаимодействия независимых участников определённого вида деятельности, объединенных единой информационной средой, приводящая к снижению транзакционных издержек и к повышению эффективности услуг, за счёт применения пакета цифровых технологий работы с данными (хранения, обработки, анализа и т. д.) и изменения системы разделения труда. ЦП для организации взаимодействия участников определённого вида деятельности должна обладать единой информационно-технологической средой, а также быть интегрированной в единую телекоммуникационную инфраструктуру. По уровню обработки информации выделяют базовые типы цифровых платформ: инструментальная цифровая платформа, инфраструктурная цифровая платформа, прикладная цифровая платформа [19].

Организация платформы цифрового мониторинга лесных ресурсов Байкальской природной территории.

В силу больших объёмов, пространственно-временного характера и распределённости данных цифрового мониторинга леса наиболее естественным способом их интеграции является применение стандартов Open Geospatial Consortium (OGC), концептуальных основ инфраструктуры пространственных данных (ИПД) интеграционного типа, сервис-ориентированной архитектуры Web-приложений (SOA, Service Oriented Architecture) и внедрении концепции цифровых платформ, сквозных технологий, больших данных [20, 21].

Платформенный подход организации цифрового мониторинга лесных ресурсов БПТ предполагает создание базовых типов ЦП для совместного использования услуг, сервисов и данных всеми участниками ЦП.

Инструментальная цифровая платформы (ИЦП) мониторинга леса БПТ содержит инструментальное программное обеспечение поддержки доступа участников к разработке и отладке прикладных информационных и программно-аппаратных средств мониторинга путём предоставления типовых функций, интерфейсов и сервисов обработки пространственно-

временных данных. ИЦП включает инструменты создания трех основных типов компонентов, встраиваемых в общую среду:

- разработки WPS сервисов и их композиций, предназначенных для программной обработки данных, реализующих стандарты интероперабельности программного обеспечения;
- создания сервисов обмена данными, обеспечивающих и предоставление сбор тематических данных;
- развертывания геопорталов доступа к тематическим данным и сервисам.

Инфраструктурная цифровая платформа (ИнЦП) мониторинга леса БПТ содержит средства технологической обработки данных, источники данных, что позволит, строить прикладные сервисы по автоматизации деятельности участников мониторинга, с использованием сквозных цифровых технологий. ИнЦП должна содержать средства доставки, обработки, хранения данных, а также инфраструктуру развёртывания ИЦП, сервисы (программные решения на базе ИЦП), средства разработки, отладки и интеграции сервисов.

Прикладная цифровая платформа (ПЦП) цифрового мониторинга леса оперирует обработанными данными на уровне отдельной группы или вида мониторинга в целом. ПЦП поддерживает алгоритмический обмен услугами (сервисами) между участниками с использованием единой информационной среды и информационно-технологической инфраструктуры. ПЦП получает за счёт объединения множества потоков в рамках одной информационной среды.

Цифровая платформа экологического мониторинг леса БПТ позволяет:

- осуществить междисциплинарную интегрированность схем и методов всех участников мониторинга леса;
- создать базовые типы цифровых платформ распределённого экологического мониторинга леса, автоматизировать регистрацию параметров в режиме (24/12/365), в том числе с помощью IoT-датчиков, а также онлайн транслировать данные в ЦОД;
- создать распределённую (облачную) сеть центров (ЦОД) обработки междисциплинарных пространственно-временных данных мониторинга леса, для повышения качества оригинальных математических и информационных моделей и программного обеспечения комплексной обработки данных;
- повысить достоверность пространственно-временных данных мониторинга леса за счёт их множественности (Big Data) и комплексности получения из распределённой сети сенсоров и данных ДЗЗ;
- создать базовые и тематические WPS-сервисы и планировать их использование между участниками ЦП для выявления и оценки изменений состояния леса под воздействием деструктивных факторов (включая пожары, вырубки, вспышки массового размножения насекомых, техногенные загрязнения, аномальные метеорологические явления) по данным дистанционных наблюдений;
- создать информационно-аналитическую среду комплексной оценки, анализа и прогнозирования значимых экологических проблем лесных ресурсов БПТ, использующей информационно-математические методы, современные распределённые сервис-ориентированные и сквозные технологии обработки больших пространственно-временных данных мониторинга лесов;
- повысить информационную доступность результатов научных исследований для управления лесными ресурсами БПТ, прогнозирования основных рисков, связанных с антропогенной нагрузкой на природу, обеспечения безопасности населения.

Заключение. Рассмотрены вопросы создания цифровой платформы мониторинга леса Байкальской природной территории для поддержания его рационального использования и устойчивого развития экологической системы озера Байкал.

Работа проводилась при поддержке проекта СО РАН № 00282-2019-0009 и ЦКП ИИВС ИРНОК

ЛИТЕРАТУРА

1. **Федеральный закон** «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ
2. **Федеральный закон** «Об охране озера Байкал» № 94-ФЗ от 1 мая 1999 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. 1999. № 18, ст. 2220**.**
3. **«Лесной кодекс Российской Федерации»** от 04.12.2006 N 200-ФЗ.
4. **Байкал: природа и люди: энциклопедический справочник /** Байкальский институт природопользования СО РАН; отв. ред. чл.-корр. А.К. Тулохонов. Улан-Удэ: ЭКОС: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009. 608 с.
5. **Приказ Минприроды России** от 19.02.2015 N 59 «Об утверждении порядка осуществления государственного мониторинга воспроизводства лесов»
6. **Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации** от 05.04.2017 г. № 156 «Об утверждении Порядка осуществления государственного лесопатологического мониторинга».
7. **Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ** от 16 сентября 2016 г. N 480 «Об утверждении порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования».
8. **ФБУ «Рослесозащита» http://rcfh.ru/**
9. **Центр защиты леса Иркутской области.** http://irkutsk.rcfh.ru/
10. **Центр защиты леса Республики Бурятия.** http://buryatia.rcfh.ru/
11. **Министерство лесного комплекса Иркутской области**. https://irkobl.ru/sites/alh/about/?type=special
12. **Лесной план** // Министерство лесного комплекса Иркутской области: офиц. сайт. Режим доступа: http://irkobl.ru/sites/alh/documents/lesplan/ (дата обращения: 03.03.2020).
13. **Указ Губернатора Иркутской области** от 29 мая 2019 года № 112-уг «Об утверждении лесного плана Иркутской области на 2019-2028 годы».
14. **Постановление Правительства Республики Бурятия** от 28.12.2018 г №763 «Об утверждении Лесного плана Республики Бурятия».
15. **Лесохозяйственные регламенты лесничеств** // Министерство лесного комплекса Иркутской области: офиц. сайт. Режим доступа: https://irkobl.ru/sites/alh/documents/reglament/ (дата обращения: 03.03.2020).
16. **Ваганов Е.А. «**О состоянии и организации исследований сибирских лесов». http://www.nsc.ru/HBC/article.phtml?nid=46&id=9.
17. **Распоряжение Правительства** РФ от 20.09.2018 N 1989-р (ред. от 28.02.2019) «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года».
18. **Развитие цифровой экономики в России. Программа до 2035 года. 2017.** – [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: http://innclub.info/wp-content/uploads/2017/05/strategy.pdf (Дата обращения 21.06.2020).
19. **Цифровые подходы к определению и типизации / Ростелеком. 2018.** – [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: http://d-russia.ru/wpcontent/uploads/2018/04/digital_platforms.pdf (Дата обращения 21.06.2020).
20. **Бычков И.В., Ружников Г.М., Хмельнов А.Е., Фёдоров Р.К.** Инфраструктура информационных ресурсов и технологий и создания информационно-аналитических систем территориального управления. Н-ск: Издательство СО РАН, 2016. 242 с.
21. **Bychkov I., Ruzhnikov G., Hmelnov A., Fedorov R, Popova A.** Digital Monitoring of Lake Baikal and its Coastal Area. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019), CEUR Workshop Proceedings, 2019, Vol.2463, pp. 13–23.

I.V. Bychkov, G.M. Ruzhnikov, R.K. Fedorov, A.K. Popova (Matrosov Institute of System Dynamics and Control Theory SB RAS, Irkutsk)

Digital Platform for Monitoring Forest Resources of the Baikal Natural Territory

Abstract. Forest is the most important natural resource of the Baikal natural territory (BNT), ensuring the sustainable development of the ecological system of lake Baikal, performing water protection, soil protection and water regulation functions. The issues of transition to a new technological mode – the creation of a digital platform for forest monitoring to support its rational use.

И. Ю. НЕБОГАТИКОВ, И. П. СОЛОВЬЕВ
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

РАСПОЗНАВАНИЕ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПО НОСИМЫМ ДАТЧИКАМ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ ДОМОМ

В данной работе проводятся анализ и сравнение методов машинного обучения, используемых для распознавания активности человека в контексте умного дома. Данные получены из оптического датчика сердцебиения и акселерометра, встроенных в умные часы. Делается вывод о наибольшей универсальности метода случайного леса для задач данной категории.

Введение. Проблематика «умного дома» включает в себя много различных задач, диапазон которых не ограничивается мониторингом и управлением бытовыми приборами, но подразумевает также создание достаточно сложных стратегий поддержки различных типов обитателей этого дома, опирающихся все же как на мониторинг приборов, так и на мониторинг активности обитателя, в частности, использование технологии мониторинга активности человека по носимым датчикам. Это могут быть довольно сложные системы с электрокардиографами, пульсоксиметрами и другими приборами, или одно «умное» устройство, например, часы или фитнес-браслет, оснащенное оптическим датчиком пульса и (или) акселерометром. Последние устройства являются наиболее популярными из-за относительно меньшей стоимости. Основное их применение – отслеживание физической активности. Постоянный мониторинг различных параметров позволяет делать предположения о текущем виде деятельности человека в предположении существования известных шаблонов поведения. В системах умного дома такой подход можно применять в сценариях управления устройствами на основе текущего вида деятельности. Выделяют два основных подхода к распознаванию шаблонов поведения: классификация, распознавание некоторого заранее заданного набора действий, и кластеризация, автоматическое извлечение шаблонов [1].

Предлагаемый доклад посвящен анализу и сравнению методов машинного обучения, используемых для распознавания шаблона поведения человека в задаче управления умным домом, на основе данных, находящихся в открытом доступе. В данной работе рассматривается задача классификации, поскольку для реализации процесса автоматизации умного дома предполагается использование заранее заданных видов деятельности обитателя. Для упрощения рассуждений мы здесь рассматриваем модель, связанную с активностью одного человека внутри квартиры.

Описание данных. Для анализа используются два набора данных.

- Данные сердцебиения и дыхания. Выборка состоит из 5 классов активности: бег, шаг, нет активности, подъем по лестнице, спуск по лестнице. Всего выборка содержит 128694 элемента (87235 без учета спуска/подъема по лестнице). Данные не размечены временными метками, поэтому нельзя положиться на их упорядоченность и применить методы [2].
- Открытые данные об активности человека в течении трех дней. Набор содержит 4742 записи, разделённых на 10 видов деятельности: приготовление еды, еда, в компьютере, бег, сидит, сон, тренировка, видео игры, шаг, просмотр ТВ [3].

Описание методов. Для классификации были выбраны следующие алгоритмы и их параметры:

- нейронная сеть (Решатель: Adam) [4];
- метод K ближайших соседей (K = 10) [5];
- случайный лес (100 деревьев) [6];
- байесовский классификатор [7];
- AdaBoost (стандартный метод: решающие деревья) [8];
- метод опорных векторов [9].

Основные метрики измерения качества:

- Точность классификации (accuracy): отношение правильно предсказанных значений к общему размеру проверочной выборки;

- Точность для класса (precision) – отношение правильно определенных значений класса к сумме правильно и ложноположительно определенных значений;
- ROC AUC (area under receiver operating characteristic curve) – площадь подграфика кривой ошибок.

Анализ результатов. Каждый набор данных был разбит на две части: обучающая и тестовая выборки в отношении 85 % и 15 %.

Для набора данных сердцебиения использовались алгоритмы случайного леса и метода опорных векторов как наиболее эффективные в решении похожих задач [10, 11].

Значения точности классификации (accuracy) составили 0.438487 для случайного леса и 0.386946 для метода опорных векторов. Значения точности для класса (precision) и площадь подграфика (AUC) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Точность распознавания с использованием датчика пульса (5 классов)

Вид активности	Случайный лес		Метод опорных векторов	
	Precision	AUC	Precision	AUC
Вниз по лестнице	0,61919	0,564738	0,160682	0,609572
Нет активности	0,487542	0,926043	0,268873	0,930411
Бег	0,599251	0,771685	0,639908	0,789139
Вверх по лестнице	0,243863	0,595384	0,265470	0,614261
Шаг	0,370785	0,624040	0,392319	0.636381

Значения AUC для метода опорных векторов превосходят соответствующие значения для случайного леса, поскольку считается во время построения классификатора на тренировочных данных, которых значительно больше, чем тестируемых. Это показывает достаточную разделяемость данных для небольшого количества классов. Точность (precision) значительно ниже в случае отсутствия активности для метода опорных векторов.

Для увеличения различий между классами и уменьшения количества классов были проанализированы данные без учета подъема/спуска по лестнице. В данном случае значения точности классификации составили 0,666590 для случайного леса и 0,614473 для метода опорных векторов, что в 1,5–1,6 раз выше, чем с учетом пяти классов. Метрики показаны в табл. 2.

Таблица 2

Точность распознавания с использованием датчика пульса (3 класса)

Вид активности	Случайный лес		Метод опорных векторов	
	Precision	AUC	Precision	AUC
Нет активности	0,616322	0,923518	0,386822	0,931720
Бег	0,754862	0,802214	0,805437	0,816909
Шаг	0,612167	0,724526	0,633569	0,730616

Как и в предыдущем случае, точность распознавания отсутствия активности значительно ниже для метода опорных векторов, поскольку отличие значений пульса для ходьбы и отсутствия активности меньше, чем отличие бега от ходьбы и отсутствия активности. Алгоритм случайного леса показывает большую чувствительность к различиям признаков, что уменьшает разброс в точности для различных типов активности.

Второй набор данных обрабатывался с использованием всех описанных методов классификации. Результаты точности классификации показаны в табл. 3.

Из-за значительно меньшего количества данных, и как следствия большего влияния выбросов данных в выборках на обучение, при использовании только одного датчика методы K ближайших соседей, байесовский классификатор, AdaBoost и нейронная сеть показывают большую точность классификации. Однако, только алгоритм случайного леса показывает значительный рост точности при рассмотрении нескольких датчиков и усложнения модели данных. Точность классификации при использовании метода опорных векторов с использованием обоих датчиков увеличивается незначительно из-за усложнения структуры данных.

Таблица 3

Точность распознавания с различными вариантами использования

Метод	Точность (датчик сердцебиения)	Точность (акселерометр)	Точность (оба датчика)
Нейронная сеть	0,286517	0,351124	0,369382
K ближайших соседей	0,237360	0,419944	0,433989
Случайный лес	0,147472	0,428371	0,501404
Байесовский классификатор	0,290730	0,271067	0,300562
AdaBoost	0,308989	0,275281	0,289326
Метод опорных векторов	0,116573	0,137640	0,143258

Для случая использования обоих датчиков при использовании алгоритма случайного леса была вычислена важность признаков (сколько раз каждый признак использовался в деревьях для определения перехода [12]):

- 0,479728 для датчика пульса;
- 0,520272 для акселерометра.

Различие в значениях незначительно и зависит от выбора тренировочной выборки, поэтому можно считать, что важность признаков одинакова.

Заключение. В представленной работе рассмотрены методы машинного обучения, используемые для распознавания шаблона поведения человека в задаче управления умным домом. Решалась задача классификации данных на примере модели активности одного человека внутри квартиры. Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что использование только одного датчика для распознавания активности человека возможно только при небольшом количестве классов и сильно различающихся видов деятельности, например, сон, умеренная активность или бег. Для распознавания большего числа классов, порядка 10, необходимо использовать данные сердцебиения и акселерометра.

В продолжении исследования предлагается выполнить сбор достаточного объема собственных данных для получения возможности их фильтрации и применении к ним метода случайного леса для классификации, как показавшего себя в качестве наиболее универсального алгоритма для задач рассмотренного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириенко А.С., Соловьев И.П. Анализ активности человека в задаче автоматизированного управления умным домом // Компьютерные инструменты в образовании, 2017. № 1. С. 15-29.
2. URL: https://www.kaggle.com/onnsbrd/heart-rate-and-breathing-data?select=final_ecg_data.csv (дата обращения: 28.07.2020).
3. URL: https://www.kaggle.com/sasanj/human-activity-smart-devices (дата обращения: 28.07.2020).
4. Diederik P. Kingma, Jimmy Ba. Adam: A Method for Stochastic Optimization. ICLR. 2015.
5. Padraig Cunningham, Sarah Jane Delany. k-Nearest neighbour classifiers. 2017.
6. Thais Mayumi Oshiro, Pedro Santoro Perez, Jos´e Augusto Baranauskas. How Many Trees in a Random Forest? 8th International Conference on Machine Learning and Data Miningin Pattern Recognition. 2012.
7. Irina Rish. An empirical study of the naive Bayes classifier. 2001.
8. Yoav Freund Robert E. Schapire. A Short Introduction to Boosting. Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence. 1999. P. 771-780.
9. Theodoros Evgeniou, Massimiliano Pontil. Support Vector Machines: Theory and Applications. Machine Learning and Its Applications, Advanced Lectures. 2001.
10. Saeed Mehrang, Julia Pietila, Johanna Tolonen, Elina Helander, Holly Jimison, Misha Pavel, Ilkka Korhonen. Human Activity Recognition Using A Single Optical Heart Rate Monitoring Wristband Equipped with Triaxial Accelerometer. EMBEC & NBC 2017. 2017. P. 587-590.
11. Tao Tang, Lingxiang Zheng, Shaolin Weng, Ao Peng and Huiru Zheng. Human Activity Recognition with Smart Watch based on H-SVM. International Conference on Frontier Computing. 2018. P. 179-186.
12. Bjoern H Menze, B Michael Kelm, Ralf Masuch, Uwe Himmelreich, Peter Bachert, Wolfgang Petrich, and Fred A Hamprecht. A comparison of random forest and its Gini importance with standard chemometric methods for the feature selection and classification of spectral data. BMC Bioinformatics. 2009.

I. Y. Nebogatikov, I. P. Soloviev (Saint Petersburg State University, Saint Petersburg)

Human Activity Recognition by Wearable Sensors in the Smart Home Control Problem

In this work we analyze and compare machine learning methods of recognizing human activity in the context of smart home by using data obtained from an optical heartbeat sensor and an accelerometer embedded in a smart watch. The conclusion is made that for problems of such type the random forest method is the most universal.

И. О. ШАЛЬНЕВ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ С КОМПЛЕМЕНТАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ

В статье рассматриваются особенности проектирования и использования комплементарных объектов. Приведенные примеры иллюстрируют парадигмы программирования, необходимые для правильного использования комплементарных объектов.

Введение. Динамическая реконфигурация информационно-вычислительных узлов сети является насущным вызовом в области программирования. Для решения проблемы динамической реконфигурации была разработана концепция распределенной виртуальной машины [1]. В основе распределенной виртуальной машины лежит объектно-ориентированное программирование (ООП) [2]. Так как каноничный объект ООП не является сетевой сущностью, то было предложено расширить эту парадигму определением комплементарного объекта. Разделенный на функциональную и программно-интерфейсную составляющие объект будем называть комплементарным. Части комплементарного объекта можно расположить на разных узлах сети, тем самым обеспечивая удаленное управление функциональным объектом. Управление осуществляется путем использования объекта программно-интерфейсной стороны. Именование программно-интерфейсного объекта соответствует именованию функционального с добавлением префикса V (от слова virtual). Несмотря на то, что использование обычных объектов ООП схоже с использованием объектов программно-интерфейсной стороны, они все же имеют различия, которые следует учитывать, а именно: обработка результата метода объекта, создание и деструкция комплементарных объектов.

Обработка результата метода объекта. Одной из особенностей в использовании комплементарного объекта является обработка результата вызванного метода. Если обычный объект считает результат на том же вычислительном устройстве, что и обрабатывает его, то у комплементарного объекта вычисление результата и его обработка могут выполняться на совершенно разных устройствах. В силу этого, ожидание результата выполнения метода в момент его вызова, как это осуществляется с методами классических ООП объектов (рис. 1*а*), неэффективно из-за возможных простоев процессора. Методы программного интерфейса комплементарных объектов не возвращают свои результаты средствами языка C++ и обозначены ключевым словом void. Обработка пришедшего результата должна осуществляется асинхронно посредством событийно-ориентированной методологии [3]. В момент, когда результат поступает на сторону программного интерфейса, виртуальная машина определяет объект, метод которого был вызван и подает сигнал о подготовленном результате. Такой сигнал обрабатывается функцией обратного вызова (callback) или как её по-другому называют – слотом. На рис. 1*б* показан пример обработки результата удаленного метода. В качестве примера был создан демонстрационный класс, метод которого удаленно складывает два числа. Здесь, третьим аргументом в метод передается обработчик результата, который в данном случае был определен как лямбда-функция, выводящая результат на экран.

```
Adder adder;
int res = adder.add(10, 23);
qInfo() << "result:" << res;
```

а)

```
auto adder = new VAdder( getProcessor() );
adder->add(10, 23, [](int res){
    qInfo() << "result:" << res; //result=33
});
```

б)

Рис. 1. Способы обработки результата удаленного метода

Создание и деструкция комплементарных объектов. Как создание, так и деструкция объекта программного интерфейса влечет за собой создание/деструкцию функционального объекта. Информация о необходимости создания/деструкции функционального объекта отправляется со стороны программного интерфейса в виде байт-кода [4]. Из-за того, что комплементарные объекты имеют асинхронную природу, то создание объектов в стеке может быть губительно. Так как по выходу из области видимости объект удалится, и в случае вызова удаленного метода

результат не успеет отправиться и, как следствие, обработаться. В данном случае его необходимо создать динамически и асинхронно удалить после возникновения какого-либо события, например, по возврату результата от функциональной стороны (рис. 2).

Несмотря на это, методы объектов могут иметь исключительно управляющий характер. Как правило, подобные методы ничего не возвращают, либо возвращают код ошибки. Такие объекты могут быть созданы в стеке. На функциональной стороне это будет выглядеть следующим образом: создание объекта, вызов метода, удаление объекта. Также, объекты, которые являются полем другого класса, могут быть определены в стеке, так как объект, агрегирующий виртуальный объект, управляет его жизненным циклом.

В случае, когда разработчик виртуального класса убежден, что создаваемый им класс не является управляющим и его методы требуют возврата результата, то он может обезопасить пользователя от возможных ошибок, скрыв конструкторы private, либо protected спецификатором доступа и определить статические методы создающие (create) и копирующие (copy) виртуальные объекты. Эти методы возвращают указатель на созданный или скопированный объект.

Существует подмножество классов, в основании которых лежат другие объекты. Создадим еще один демонстрационный класс Multiplier и соответствующий ему VMultiplier (рис. 2), единственная задача которого удаленно умножать два числа. Совершать это действие он будет путем итеративного сложения числа с самим собой при помощи уже созданного класса Adder. В конструктор передается указатель на созданный объект класса Adder, а по деструкции класса Multiplier он удаляется.

Реализация VMultiplier должна быть максимально абстрагирована от функционала и должна дублировать лишь сигнатуры методов, конструкторов, но никак не их логику. Поэтому процесс деструкции объектов adder и multiplier, показанных на рис. 2, будет следующим: сперва удалится интерфейсный объект multiplier, сформировав байт-код на удаление соответствующего функционального объекта. Затем, во время удаления функционального объекта multiplier, удалится агрегированный функциональный объект adder. Определив это, виртуальная среда функционального объекта сформирует байт-код на удаление интерфейсного объекта класса VAdder.

```
auto adder = VAdder::create( getProcessor() );
auto multiplier = VMultiplier::create( adder, getProcessor() );
multiplier->multiply(3, 4, [multiplier](int res)
{
    qInfo() << "Multiply:" << res;
    delete multiplier
});
```

Рис. 2. Создание вложенного виртуального объекта

Показанная выше имплементация удаленного произведения не единственная из возможных реализаций. В данном случае логика использования функционального объекта Adder реализована на функциональной стороне объекта Multiplier. Объект VMultiplier является программным интерфейсом удаленного доступа и не несет никакой алгоритмической составляющей. Можно создать альтернативную реализацию объекта Multiplier, путем переноса алгоритма умножения на сторону программного интерфейса [4]. Это будет обычный объект, метод которого будет последовательно запрашивать сумму до тех пор, пока не получит произведение.

Реализованный на рис. 3 метод будет вызывать удаленный метод сложения, при этом число вызовов будет определяться значением второго аргумента, в то время как объект класса VMultiplier вызовет удаленный метод всего лишь один раз. В данном случае это может показаться невыгодным, но существует ряд задач, которые не в состоянии выполниться на удаленном устройстве и тогда выполнение работы на месте может являться хорошим компромиссом.

```
void VMultiplierVA::_multiply(const int a, const int b)
{
    if(nullptr == mAdder){
        qWarning() « "mAdder is nullptr";
        emit multiplyReceived(mLastMultiply);
        return;
    }
    if(0 == b)
        emit multiplyReceived(mLastMultiply);
    else {
        auto tmp = (a>0)^(b>0)? 0-std::abs(a): std::abs(a);
        mAdder->add(mLastMultiply, tmp, [this, a, b](int res)
        {
            mLastMultiply = res;
            _multiply(a, b>0? b-1: b+1);
        });
    }
}
```

Рис. 3. Реализация метода вычисляющего произведение на стороне программного интерфейса

Заключение. По итогу работы была создана довольно простая и удобная реализация использования комплементарных объектов, основанная на современных методологиях асинхронного сетевого программирования. Подобная технология позволяет создавать сетевые приложения, с возможностью быстрого переконфигурирования с целью соответствия миру активно изменяющихся задач.

Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания на 2020 г. № 0073-2019-0005.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шальнев И.О. Подход к построению распределенной виртуальной машины на основе объектно-ориентированного программирования. Известия ТулГУ «в печати»
2. Буч Г., Максимчук Р.А., Энгл М.У., Янг Б. Дж., Коналлен Д., Хьюстон К.А. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений: 3-е издание. М.: Вильямс, 2010. 720 с.
3. Шлее М. Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++. СПб:БХВ-Петербург, 2018. 1072 с.
4. Шальнев И.О. Подход к построению распределенных систем на основе балансировки объема исполняемого кода между сетевыми узлами. Технологическая перспектива: новые рынки и точки экономического роста. Материалы конференции, 2018.

I.O. Shalnev (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

Complementary Object Usage Features in Distributed Virtual Environment

The paper is concerned with complementary objects features, design and usage. The given examples illustrate programming paradigms are required in complementary object usage.

В. П. ИВАНОВ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург

ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА ОГИБАЮЩИХ К СИНТЕЗУ УПРАВЛЕНИЯ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ИГРЕ «ПРЕСЛЕДОВАНИЕ–УКЛОНЕНИЕ»

Доклад посвящен приложениям метода огибающий к синтезу управления в дифференциальной игре «преследование–уклонение». Доказывается, что оптимальные траектории могут быть представлены как огибающие параметрического семейства сингулярных кривых, названных в рамках данного подхода мгновенными решениями, и что управление может быть найдено на этом семействе. Показано, что в общем случае синтезированный закон игрового управления будет содержать предельно допустимые значения управления, текущие значения фазовых координат, параметры касательных и производные от них.

Введение. В докладе рассматривается случай, когда движения игроков описываются однотипными системами дифференциальных уравнений с нелинейными в общем случае правыми частями, но с линейно входящим управлением. Управление игроков ограничено замкнутым множеством предельно допустимых значений. В качестве терминального критерия оптимальности принята евклидова мера невязок координат преследователя и преследуемого на момент окончания игры (промах). Минимаксная постановка детерминированной задачи предполагает, что целью преследователя является минимизация промаха, а преследуемого – максимизация. Все известные к настоящему времени подходы к решению антагонистических дифференциальных игр (принцип максимума или динамическое программирование, теория позиционных дифференциальных игр и др. [1–4]) связаны с решением двухточечной краевой задачи, либо его обходом тем или иным способом. Предлагаемый доклад в этом смысле не является исключением и посвящён применению метода огибающих к решению дифференциальных игр типа «преследование-уклонение».

Основная часть. Синтез управления в дифференциальной игре «преследование–уклонение» является обобщением задачи оптимального управления в случае двух лиц. В такой постановке оптимальное управление и траектории находятся после решения соответствующей краевой задачи. Для нелинейных систем решение её затруднено. Кроме того, на численные методы во многом влияют неизбежные ошибки округления, в ряде случаев не позволяющие получить результат. Для оптимизации управления динамическими системами был разработан подход, основанный на применении метода огибающих [5, 6]. В его основу положен тот факт, что фазовая траектория динамической системы является огибающей семейства поверхностей (в частных случаях сингулярных кривых), восставленных из каждой её точки. На этом основан графоаналитический метод интегрирования В.П. Ветчинкина [7], когда траектория представляется огибающей семейства окружностей мгновенного радиуса кривизны.

Следует отметить, что в каждой конкретной точке фазовой траектории вектор скорости и вектор обобщённого импульса касательны ей. Поэтому существует возможность синтеза управления на семействе сингулярных кривых. В работах [5, 6] изложен способ построения сингулярных кривых, названных мгновенными решениями, и представлено доказательство возможности нахождения управления в рамках заданного терминального критерия оптимальности, что можно найти на семействе мгновенных решений как на границе допустимого множества управлений, так и внутри её.

Обратим внимание на то, что полученный закон управления обладает адаптивными свойствами и строится по принципу обратной связи по отношению к параметрам, определенным на семействе мгновенных решений. Адаптация осуществляется по вычисляемым в каждый момент времени параметрам на мгновенных решениях и соответствующим производным.

Указанные выше идеи легли в основу метода синтеза управления в дифференциальной игре «преследование–уклонение». Для конкретизации использовался метод позиционных дифференциальных игр [4]. В рамках данного подхода строились области достижимости преследуемого и преследователя. В редуцированном пространстве мгновенных решений области достижимости представляли собой эвольвенты к кривым с предельно допустимым

значениям управления. Ввиду однотипности математических моделей игроков и свойств эвольвент, экстремальная точка прицеливания, как наиболее удалённая от границы достижимости преследователя, находилась на касательной к кривым с предельно допустимым значением управления преследователя и преследуемого.

Таким образом, оптимальные траектории преследователя и преследуемого состоят из участка с предельно допустимым значением управления и участка с особым управлением. Параметры касательной и производные от них определяют структуру особого управления.

Так как функция знака касательной к кривым с предельно допустимым значением управлением соответствует функции знака линии визирования, то, согласно принципу информационного доопределения Ю.Б. Гермейера [8], возможно дальнейшее редуцирование пространства мгновенных решений, т.е. дальнейшее упрощение построения мгновенных решений.

В общем случае синтезированный закон игрового управления будет содержать предельно допустимые значения управления, текущие значения фазовых координат, параметры касательных и производные от них.

Проводилась оценка эффективности предлагаемого подхода в сравнении с классическим решением двухточечной краевой задачи методом последовательных приближений. Численные решения показали, что метод огибающих даёт семикратное сокращение времени решения краевой задачи.

Заключение. Проведённые исследования показали, что применение метода огибающих упрощают синтез управления в дифференциальной игре «преследование–уклонение» и интерпретацию результатов. Указанный подход в дальнейшем можно применить к играм нескольких лиц, к решениям коалиционных, иерархических и кооперативных игр.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вайсброд Э.М., Жуковский В.И.** Введение в дифференциальные игры нескольких лиц и их приложения. М.: Советское радио, 1980. 304 с.
2. **Петросян Л.А., Рихсиев Б.Б.** Преследование на плоскости. М.: Наука, 1991. 96 с.
3. **Пацюков В.П.** Дифференциальные игры при различной информированности игроков. М.: Советское радио, 1976. 200 с.
4. **Красовский Н.Н., Субботин А.И.** Позиционные дифференциальные игры. М.: Физматлит, 1974. 456 с.
5. **Иванов В.П.** Метод синтеза особого оптимального управления для автономных динамических систем/ Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2015, №2, С. 62–70.
6. **Иванов В.П.** Оптимизация управления динамическими системами на границе допустимого множества управлений методом огибающих. СПб, Наука, 2007. С.270-276.
7. **Ветчинкин В.П.** Методы приближенного и численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений, вып. 1-3, М., 1932-35.
8. **Гермейер Ю.Б.** Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. 326 с.

V.P. Ivanov (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

Application of the Envelop Method to Synthesis of Control in the differential Game “Pursuit-Evasion”

The report is devoted to the applications of the envelope method to the synthesis of control in the differential game “pursuit-evasion”. It is proved that optimal trajectories can be represented as envelopes of a parametric family of singular curves, called instantaneous solutions within this approach, and that control can be found on this family. It is shown that, in the general case, the synthesized game control law will contain the maximum permissible control values, current values of phase coordinates, parameters of tangents and their derivatives.

WENLONG YI, XIMENG HUANG, HUA YIN, SHIMING DAI*
School of Software Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China
*Corresponding author: smdai_002@163.com

BLOCKCHAIN-BASED APPROACH TO ACHIEVE CREDIBLE TRACEABILITY OF AGRICULTURAL PRODUCT TRANSACTIONS

The traditional traceability system for agricultural product transactions is susceptible to information alteration and damage, which may lead to issues regarding product quality and food safety. And blockchain is a technology that boasts tamper-proofing, complete traceability and time-stamped storage. Considering the above, this study proposes a new blockchain-based approach to the quality management of agricultural products and introduces Solidity-based prototype smart contracts for agricultural product transactions. Test results show that the new traceability system can offer good performance in terms of data upload and block response time. The method proposed in this paper can be used as a solution for quality management of agricultural product that boasts whole process transparency, full-link reliability and joint supervision by all nodes in the system.

Introduction. The rapid development of digital economy has brought changes in people's lifestyles, including the digitization of product quality management, which is realized by the development of traceability systems that can manage information of multiple links including production, processing, transhipment, sales and consumption. Compared with industrial products, agricultural products are significantly different in that production season, shelf life, sales price, etc. have a great influence on their production input and yield. In supply chain from "farm to dinner table", suppliers and sales outlets control the information related to agricultural products transactions, and the lack of data sharing during the entire product transaction process has led to the formation of information silos, leaving room for self-interest driven act of deliberately tampering and damaging transaction data. Moreover, once any safety accident occurs to agricultural products, it is very difficult to find out the reasons behind it and obtain relevant evidences. As a result, most ordinary consumers can only judge the quality of agricultural products based on brand reputation.

Built on the underlying technology of Bitcoin, Blockchain boasts features such as decentralized data storage, tamper-proof and timestamp [1–2]. Recent breakthroughs made in the fields of blockchain-related high-performance consensus algorithms, encryption mechanisms and distributed storage technologies have made it possible to apply blockchain technologies to manage transactions of traditional agricultural products [3–6], including establishing a unique electronic label for each product, which realizes the "one code per item" identification rule, and having data stored on distributed chain nodes and the data of each transaction stored as additional data on the chain structure, which ensures the transparency and credibility of the entire transaction process of each commodity from its source of production to reaching the hands of final consumers [7].

Design of agricultural product traceability system. In the traceability system, true data on agricultural product growth is the prerequisite of trusted transactions. Traditionally, the produce growth data is input manually and can be tampered. To address this issue, the IoT sensor technology is introduced to automatically import the growth data into the traceability system (as shown in Fig. 1), achieving produce quality management from the very source. The IoT sensor is composed of the (agricultural) machine-mounted module, (agricultural) tool-mounted module and farm information collection module. To be specific,

- The machine-mounted module is installed on the operating agricultural machines to obtain the crop and environment (such as soil) information of the field (such as location, time and track) in real-time.
- The tool-mounted module is integrated with the electronic agricultural tools (such as the electronic sprayer) and becomes "intelligent". These tools can obtain information on the operators, the operating time and path, and the fertilizer use, etc.
- The farm information collection module is the collective name of all dedicated equipment that collects the farm information, such as regular meteorological and soil information collection, GIS farm information collection, and mobile UAV image collection. A wide range of sensors is used to collect the "time-environment" information on the field.

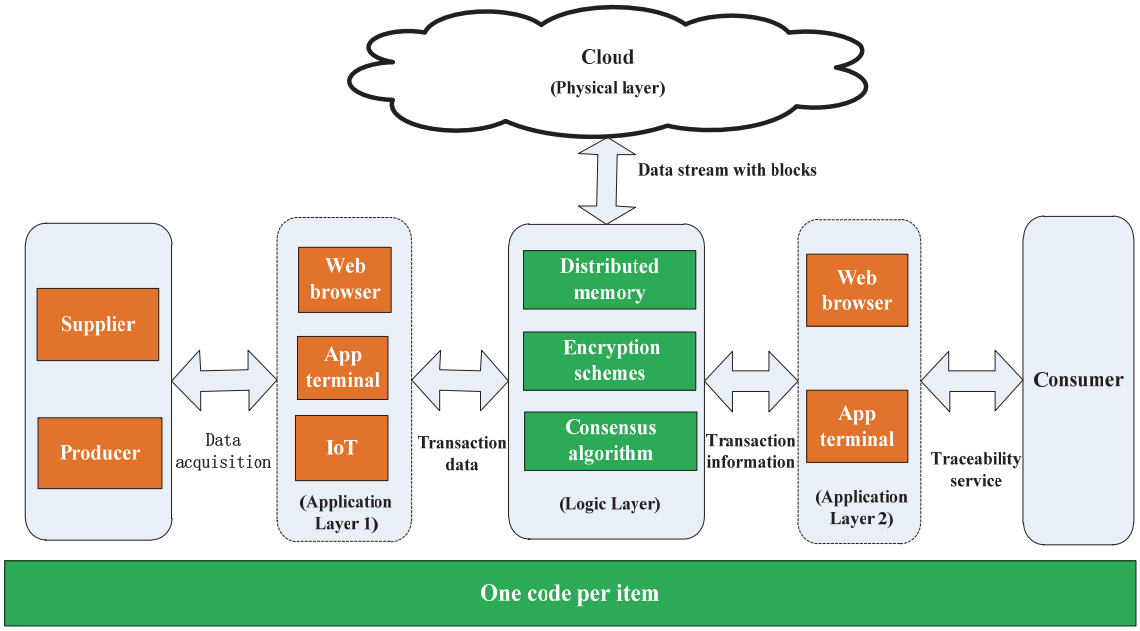


Fig. 1 Architecture of the blockchain traceability system

A blockchain traceability system has three layers, the application layer, the logic layer and the physical layer. As shown in Fig.1, in the application layer: producers and suppliers register their agricultural products in the system which will review such products and assign a unique code to each product passing the review; and growth data of agricultural products collected in real time through IoT sensor technology will be uploaded to the system, allowing consumers to obtain credible initial product information through traceability services. In the logic layer: The system uses smart contracts to ensure "decentralized" data management and achieve transaction consensus quickly; and general product information and privacy information are protected by symmetric encryption and asymmetric encryption respectively; with features such as tamper-proofing and distributed storage, blockchain is a solution well-suited for addressing the issue of lacking credible product traceability information. However, due to the full copy approach to data storage, there will be a huge demand for data storage space with the continuous growth of transaction data. In order to improve the efficiency of storage and management of agricultural product data, the system adopts distributed data storage technology to achieve higher efficiency and the output of data to the cloud storage devices at the physical layer.

Development of smart contract prototype. Other than data storage on distributed ledgers, blockchain-based decentralized management of agricultural product transactions also require smart contracts which are agreements reached in advance by the participants in the transactions. And smart contracts developed by using programming languages make it possible to achieve traceable and irreversible automated transactions, which constitute a core component of the blockchain traceability system.

This study introduces a smart contract prototype developed in the Remix-IDE environment by using the Solidity language. See Fig. 2 for details.

```
pragma solidity >0.5.0;

contract ProductInformation{
    address _ownner;
    constructor()public{
        _ownner=msg.sender;
    }
    struct Product{
        uint Ptime;
        uint Ptig;
        uint Pweight;
        string Pname;
        string Pbrand;
    }
    mapping(uint=>Product)public products;
    event showdata(string);

    function initProduct(uint time,uint tig,uint weight, string  memory name,string memory brand) public {
        products[tig]=Product({Ptime:time,Ptig:tig,Pweight:weight,Pname:name,Pbrand:brand});
    }

    function getProduct(uint tig)public returns(string memory){
        emit showdata(products[tig].Pname);
        return products[tig].Pname;

    }
}
```

Fig. 2. A sample smart contract

Core codes in the prototype include: *constructor* – a constructor function; *mapping* – create products; *event* – an event handler; *initProduct* – for instantiating the constructor and *getProduct* – obtaining the name of the agricultural product. The hardware environment for the test is as follows: Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz, 2601 Mhz, 8G memory, 1.2TB hard drive, Window 10 professional. Before running the test we prepared the block information of 10 agricultural product transactions and set the process of simulating data upload in every 1s; after which we programed the traceability system to use hash functions to store packaged data in the chain structure and used third degree polynomial to obtain the time of executing 10 transactions through the smart contract, the results of the test are as shown in Fig. 3.

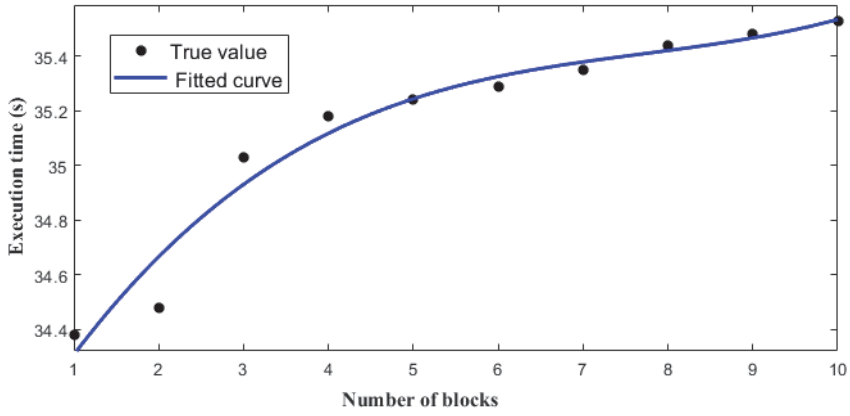


Fig. 3 Test results

Experimental results: average upload time of agricultural product information: 35.14 seconds, sum variance of fitted curve (SSE): 0.05627, Root Mean Square Error (RMSE): 0.09684. With the increase in the number of agricultural products transactions, the upload time of commodity data increases slightly as the slope of the curve increases, which further confirms that the smart contract can guarantee the validity and practicability of transaction traceability system.

Conclusions. (1) It's possible to provide farmers, suppliers and consumers with valid data related to product credibility by using blockchain and smart contracts to improve the management of agricultural product transactions and using information technology to strengthen the upstream/downstream communication in the supply chain and reduce the costs of trust and management. (2) Using blockchain technology can only ensure the credibility of the transaction information on the chain, we also need to minimize the interference of human factors on the un-uploaded product information by means such as real-time data collection through the Internet of Things, so as to ensure that information credibility can be maintained throughout the transaction process. (3) The "one code per item" identification

rule adopted by the traceability system for agricultural product transaction can ensure data traceability covering the all links (consumer, supplier and store) and the entire process (from production to final consumption), which helps merchants establish accurate customer portraits and provide credible traceability services for agricultural products, and enhance the brand value of agricultural producers and suppliers.

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61762048, Grant No. 61363041).

REFERENCES

1. **Sander F., Semeijn J., Mahr D**. The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency. *British Food Journal*. 2018. Vol.120. № 9. P.2066-2079.
2. **Creydt M., Fischer M.** Blockchain and more-Algorithm driven food traceability. *Food Control*. 2019. Vol. 105. P. 45-51.
3. **George R.V., Harsh H.O., Ray P., et al.** Food quality traceability prototype for restaurants using blockchain and food quality data index. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 240. P.118021.
4. **Kamble S.S., Gunasekaran A., Sharma R.** Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*. 2020. Vol. 52. P.101967.
5. **Demestichas K., Peppes N., Alexakis T., et al.** Blockchain in Agriculture Traceability Systems: A Review. *Applied Sciences*. 2020. Vol.10. № 12. P.4113.
6. **Behnke K., Janssen M.** Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology. *International Journal of Information Management*. 2020. Vol.52.P.101969.
7. **Hastig G.M., Sodhi M.M.S.** Blockchain for supply chain traceability: Business requirements and critical success factors. *Production and Operations Management*. 2020. Vol.29. № 4. P.935-954.

Вэньлун И, Симэн Хуан, Хуа Инь, Шимин Дай (Аграрный университет Цзянси, Китай)

Подход на основе блокчейн технологии к отслеживанию достоверных транзакций сельскохозяйственной продукции

Информацию о транзакциях в традиционной системе отслеживания транзакций сельскохозяйственной продукции легко подделать и повредить, что может привести к проблемам управления качеством и безопасностью сельскохозяйственной продукции. Технология блокчейн имеет преимущества, заключающиеся в том, что данные не могут быть изменены, полностью отслеживаются и сохраняются метки времени. В данном исследовании использованы перечисленные преимущества блокчейна, чтобы предложить способ управления качеством сельскохозяйственной продукции, и использован язык программирования Solidity для реализации прототипа смарт-контрактов на транзакции сельскохозяйственной продукции. Результаты показали стабильность цепочки информации и малое время отклика блока сельскохозяйственной продукции. Метод авторов позволяет обеспечить реализацию системы управления качеством сельскохозяйственной продукции, которая прозрачна для всего процесса, надежна во всем звене и контролируется всем узлом.

А. О. ВЕДЯКОВА

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

А. А. ВЕДЯКОВ, А. А. ПЫРКИН, А. А. БОБЦОВ, В. С. ГРОМОВ
Университет ИТМО, Санкт-Петербург

ОЦЕНИВАНИЕ ЧАСТОТ МУЛЬТИГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА ЗА КОНЕЧНОЕ ВРЕМЯ

В работе представлен метод построения оценок частот мультигармонического сигнала за конечное время. К измеряемому сигналу применяются операторы запаздывания, и строится линейная регрессионная модель, содержащая измеряемые сигналы и постоянный вектор, зависящий от неизвестных частот. Для векторной модели регрессии используется метод динамического расширения и смешивания регрессора (ДРСР), позволяющий синтезировать независимые регрессионные модели первого порядка. Затем, независимо друг от друга, строятся оценки неизвестных параметров регрессионных моделей методом стандартного градиентного спуска. На основе полученных оценок алгебраически вычисляется оценка параметров регрессионных моделей за конечное время, из которых восстанавливаются значения частот измеряемого сигнала.

Введение. Одной из фундаментальных проблем теории управления является задача оценивания частот в режиме онлайн для сигнала, состоящего из нескольких синусоид. Проблема изучается во многих отраслях науки: обработка сигналов, приборостроение, адаптивное управление. Задача оценивания частот широко представлена в практических приложениях, например, в системах точного позиционирования в нанотехнологиях [1], в системах динамического позиционирования для сосудов, подвергающихся внешним возмущениям, таким как волны, ветры и течения [2], в энергосистемах для обнаружения неисправностей [3], [4] и т. д.

На данный момент существуют различные методы для оценивания параметров мультигармонических сигналов в непрерывном времени. Одним из подходов является построение адаптивного наблюдателя минимальной размерности $3n$, обеспечивающего глобальную экспоненциальную сходимость [5], [6], [7], а так же гибридный наблюдатель [8] для синтеза оценок частот мультигармонического сигнала с насыщением. Альтернативными подходами, являются алгоритмы с использованием метода Динамического Расширения и Смешивания Регрессора (ДРСР) [9], [10], позволяющий одновременно улучшить помехоустойчивость и переходные характеристики, и метод, основанный на применении интегрального оператора Вольтера [11].

Предлагаемый доклад посвящен расширению предложенного ранее метода оценивания частоты синусоидального сигнала [12] на несмещенный сигнал, состоящий из n гармоник.

Постановка задачи. Рассмотрим измеряемый мультигармонический сигнал:

$$y(t)=\sum_{i=1}^{n}A_i\sin\left(\omega_i t+\delta_i\right) \tag{1}$$

где $\omega_i\in\mathbb{R}_+$ – частоты сигнала, $A_i\in\mathbb{R}_+$ – стационарные амплитуды, $\delta_i\in\mathbb{R}$ – фазы, $i=\overline{1,n}$, n – число гармоник сигнала $y(t)$. Параметры ω_i, A_i и δ_i считаются неизвестными.

Требуется построить оценки $\widehat{\omega}_i(t)$ частот ω_i, обеспечивающие сходимость ошибки оценивания $\widetilde{\omega}_i(t)=\omega_i-\widehat{\omega}_i(t)$ к нулю за определенное конечное время $t_{ft}>0$, т. е. $\widetilde{\omega}_i(t)\equiv 0$ при $t\geq t_{ft}$. Далее будем предполагать, что известна верхняя граница $0<\omega_i<\overline{\omega}$ для частот сигнала (1).

Параметризация. Построим линейную регрессионную модель порядка n, включающую измеряемые сигналы и вектор неизвестных параметров, зависящий от частот ω_i сигнала $y(t)$. Для этого рассмотрим оператор запаздывания:

$$[Z(\cdot)](t)=\begin{cases}0, & t<h,\\ (\cdot)(t-h), & t\geq h,\end{cases} \tag{2}$$

где $h\in\mathbb{R}_+$ – величина запаздывания, удовлетворяющая условию $h<\frac{\pi}{2\overline{\omega}}$.

Применим оператор запаздывания (2) к измеряемому сигналу (1). Заметим, что сигналы с кратным h запаздыванием, в силу ассоциативного закона, могут быть записаны следующим образом

$$y(t-kh) = Z[Z[\dots[Zy(t)]\dots]] = Z^k y(t), \quad \forall k = \overline{1,2n}. \tag{3}$$

Приведем утверждение без доказательства, гарантирующее что сигнал $y(t)$, состоящий из n синусоид может быть выражен через $2n$ сигналов с запаздываниями: $y(t-h)$, ..., $y(t-2nh)$ при $t \geq 2nh$.

Утверждение. Соотношение

$$[Z^2 + 1 - 2Zc_1] \cdot \dots \cdot [Z^2 + 1 - 2Zc_n]y(t) = 0 \tag{4}$$

справедливо для любого $n = 1,2,\dots$ и $t \geq 2nh$, где $c_i = \cos \omega_i h$ постоянные коэффициенты при $i = \overline{1,n}$, Z – оператор запаздывания (2).

На основе выражения (4) получим регрессионную модель:

$$\psi(t) = \varphi^T(t)\theta, \tag{5}$$

где $\psi \in \mathbb{R}^1$ – зависимая функция, $\varphi = [\varphi_1,\ \varphi_2, \dots,\ \varphi_n]^T \in \mathbb{R}^n$ – регрессор,
$\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]^T \in \mathbb{R}^n$ – вектор неизвестных параметров:

$$\begin{gathered}
\psi(t) = [Z^2+1]^n y(t) \quad = \sum_{k=0}^{n} C_n^k Z^{2(n-k)} \mathrm{y}(t) = \sum_{k=0}^{n} C_n^k \mathrm{y}\big(t - 2h(n-k)\big), \\
\varphi_i(t) = 2^i Z^i [Z^2+1]^{n-i} \mathrm{y}(t) = 2^i Z^i \sum_{k=0}^{n-i} C_{n-i}^k Z^{2(n-k)} \mathrm{y}(t) = \\
= 2^i \sum_{k=0}^{n-i} C_{n-i}^k \mathrm{y}(t - 2h(n-k) - ih), \quad i = \overline{1,n}, \\
\theta_1 = -c_1 - c_2 - \dots - c_n, \\
\theta_2 = c_1c_2 + c_1c_3 + \dots + c_{n-1}c_n, \\
\dots \\
\theta_n = (-1)^n c_1 c_2 \cdot \dots \cdot c_n.
\end{gathered} \tag{6}$$

где $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$.

Метод ДРСР. Алгоритм оценивания за конечное время [12] применим для построения оценок параметров регрессионной модели первого порядка. Для линейной регрессии порядка n предлагается использовать метод ДРСР [9], позволяющий перейти к n независимым регрессионным моделям первого порядка. Следуя процедуре ДРСР, введем в рассмотрение оператор запаздывания $[H(\cdot)](t)$ аналогичный (2) с величиной запаздывания $d \in \mathbb{R}_+$.

Применим оператор запаздывания $[H(\cdot)](t)$ к линейной регрессионной модели (5):

$$H^i\{\psi(t)\} = H^i\{\varphi(t)\}^{\mathrm{T}}\theta, \quad i = \overline{1,n}, \tag{7}$$

где $H^i\{\cdot\} = \underbrace{H\{H\{\dots\{H}_{i}\{\cdot\}\}\dots\}\}$ и запишем расширенную матрицу из выражений (7):

$$\varepsilon\Psi_f(t) = \varepsilon\Phi_f(t)\theta, \tag{8}$$

где $\Psi_f := [H^1\{\psi\},\ H^2\{\psi\}, \dots,\ H^n\{\psi\}]^T \in \mathbb{R}^n$, $\Phi_f(t) = [H^1\{\varphi\}^T,\ H^2\{\varphi\}^T, \dots,\ H^n\{\varphi\}^T]^T \in \mathbb{R}^{n\times n}$, $\varepsilon \in \mathbb{R}_+$ – масштабирующий коэффициент.

На этапе смешивания регрессора метода ДРСР домножим слево выражение (8) на союзную матрицу $\mathrm{adj}\{\Phi_f(t)\}$ и получим соотношение

$$\Psi(t) = \Delta(t)\theta, \tag{9}$$

где $\Psi(t) := \mathrm{adj}\{\varepsilon\Phi_f(t)\}\varepsilon\Psi_f(t) = [\Psi_1(t),\ \Psi_2(t), \dots, \Psi_n(t)]^{\mathrm{T}}$, $\Delta(t) := \det\{\varepsilon\Phi_f(t)\}$, где $\det\{\cdot\}$ – определитель матрицы.

Запишем выражение (9) покомпонентно:

$$\Psi_i(t) = \Delta(t)\theta_i, \quad i = \overline{1,n}, \tag{10}$$

где $\Delta(t), \Psi(t) \in \mathbb{R}$, θ_i – компоненты вектора неизвестных параметров θ модели (5).

Заметим, что в результате применения метода ДРСР было получено n независимых регрессионных моделей (10) первого порядка, что позволяет синтезировать оценки параметров θ_i независимо друг от друга.

Построение оценок за конечное время. Для оценивания параметров регрессионных моделей (10) воспользуемся методом стандартного градиентного спуска:

$$\dot{\hat{\theta}}_i(t) = \gamma_i \Delta(t)\big(\Psi_i(t) - \Delta(t)\hat{\theta}_i(\mathrm{t})\big), \quad i = \overline{1,n}, \tag{11}$$

где $\hat{\theta}_i \in \mathbb{R}$ – оценка параметра θ_i, $\gamma_i \in \mathbb{R}_+$ – настраеваемые параметры $i = \overline{1,n}$.

Запишем уравнение относительно ошибки оценивания $\tilde{\theta}_i(t) := \theta_i - \hat{\theta}_i(t)$:

$$\dot{\tilde{\theta}}_i(t) = -\gamma_i \Delta^2(t)\tilde{\theta}_i(t), \quad i = \overline{1,n}. \tag{12}$$

Найдем решение (12) в явном виде:

$$\tilde{\theta}_i(t) = \tilde{\theta}_i(0)e^{-\gamma_i \int_0^t \Delta^2(r)dr}, \quad i = \overline{1,n}. \tag{13}$$

Согласно работе [9] метод оценивания (11) гарантирует экспоненциальную сходимость ошибки оценивания $\tilde{\theta}_i(t)$ к нулю, если функция $\Delta(t)$ ограничена и удовлетворяет условию незатухающего возбуждения, т. е. $\exists T, t_0, a \in \mathbb{R}_+$: $\int_t^{t+T} \Delta^2(r)dr \geq a, \quad \forall t > t_0$.

Используя выражение $\tilde{\theta}_i(t) = \theta_i - \hat{\theta}_i(t)$ и обозначение $W(t) := e^{-\gamma_i \int_0^t \Delta^2(r)dr}$, запишем выражение (13) в виде

$$\begin{gathered} \theta_i - \hat{\theta}_i(t) = \theta_i W(t) - \hat{\theta}_i(t)W(t), \quad i = \overline{1,n}. \\ \hat{\theta}_i^{ft}(t) := \frac{1}{1-W(t)}\left(\hat{\theta}_i(t) - \hat{\theta}_i(0)W(t)\right), \quad t \geq t_{ft}, \end{gathered} \tag{14}$$

где $\hat{\theta}_i^{ft}$ – оценка параметра θ_i за конечное время.

На основе оценок $\hat{\theta}_i^{ft}(t)$ построим $\hat{c}_k^{ft}(t)$, используя формулы Виета из соотношения (5), и получим оценки частот:

$$\hat{\omega}_i^{ft}(t) = \frac{1}{h}\arccos\left(\hat{c}_i^{ft}(t)\right), \quad i = \overline{1,n}, \tag{15}$$

где $\hat{\omega}_i^{ft}$ — оценка частоты ω_i такая, что $\omega_i - \hat{\omega}_i^{ft}(t) \equiv 0$ для предопределенного $t \geq t_{ft}$.

Численное моделирование. Приведем результаты численного моделирования, иллюстрирующие эффективность предложенного алгоритма оценивания, выполненного с использованием MATLAB Simulink.

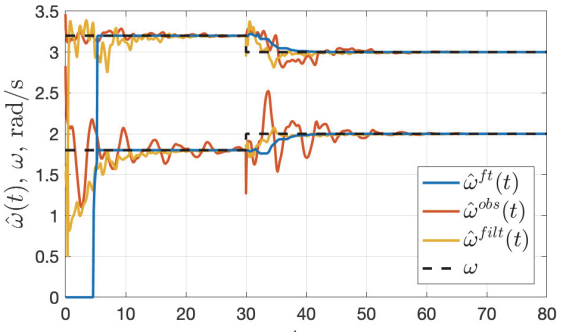


Рисунок. Оценки частот в случае скачкообразного изменения величин частот измеряемого сигнала в момент времени $t = 30$ с.

Сравним три алгоритма оценивания частот мультигармонического сигнала (1): предложенный алгоритм с оценкой $\hat{\omega}^{ft}(t)$; подход [5], основанный на адаптивном наблюдателе с оценкой $\hat{\omega}^{obs}(t)$; метод [7], использующий фильтрацию, с оценкой частоты $\hat{\omega}^{filt}(t)$.

Рассмотрим входной сигнал при $n = 2$ со скачкообразным изменением частоты в момент времени $t = 30$ с:

$$y(t) = \begin{cases} \sin 2t + \cos 3t, & t < 30 \text{ с}, \\ \sin 1{,}8t + \cos 3{,}2t, & t \geq 30\ c. \end{cases}$$

Для сравнения, алгоритмы [5], [7] настраивались так, чтобы обеспечить одинаковую скорость сходимости при отсутствии внешних возмущений. Параметры предложенного алгоритма оценивания принимались равными: $h = 0{,}7$, $d = 0{,}4$, $\varepsilon = 0{,}1$, $\gamma_1 = \gamma_2 = 1$. Метод из [5] настраивался как $\bar{g} = 4$, $r = 1{,}2$, $\mu = 10$, $\Lambda = [1\ \ 4]$. Параметры алгоритма [7] принимались равными $\lambda = 2$, $\omega_0 = 0{,}5$, $k_1 = 1$, $k_2 = 5$. Графики оценок представлены на рисунке. Как видно из рисунка, все алгоритмы успешно оценили частоты входного сигнала, однако предложенный подход позволяет получить точную оценку в заранее заданный момент времени, а при изменении частоты алгоритм оценивания совпадает с градиентным методом (11).

Заключение. Представлен метод построения оценок частот мультигармонического сигнала, позволяющий получить оценки параметров в заранее заданный момент времени. Однако, при изменении значений частот входного сигнала, ошибка оценивания сходится к нулю экспоненциально и оценка частот не может быть получена за конечное время. Этому аспекту будут посвящены дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aphale S.S., Bhikkaji B., Moheimani S.O. R. Minimizing scanning errors in piezoelectric stack-actuated nanopositioning platforms //IEEE Transactions on Nanotechnology. 2008. Т. 7. №. 1. pp. 79–90.
2. Takahashi Y., Nakaura S., Sampei M. Position control of surface vessel with unknown disturbances //2007 46th IEEE Conference on Decision and Control. IEEE, 2007. pp. 1673–1680.
3. Xia Y., Douglas S. C., Mandic D.P. Adaptive frequency estimation in smart grid applications: Exploiting noncircularity and widely linear adaptive estimators //IEEE Signal Processing Magazine. 2012. Т. 29. №. 5. pp. 44–54.
4. Phan A.T., Hermann G., Wira P. A new state-space for unbalanced three-phase systems: Application to fundamental frequency tracking with Kalman filtering //2016 18th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON). IEEE, 2016. pp. 1–6.
5. Pin G. et al. Identification of multi-sinusoidal signals with direct frequency estimation: An adaptive observer approach //Automatica. 2019. Т. 99. pp. 338–345.
6. Carnevale D., Astolfi A. A minimal dimension observer for global frequency estimation //2008 American Control Conference. IEEE, 2008. pp. 5236–5241.
7. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Vedyakov A.A., & Kolyubin S.A. Estimation of polyharmonic signal parameters //Automation and remote control. 2015. Т. 76. №. 8. pp. 1400-1416.
8. Carnevale D., Astolfi A. A hybrid observer for frequency estimation of saturated multi-frequency signals //2011 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference. IEEE, 2011. pp. 2577–2582.
9. Aranovskiy S.V., Bobtsov A.A., Ortega R., & Pyrkin A.A. (2016). Improved transients in multiple frequencies estimation via dynamic regressor extension and mixing. IFAC-PapersOnLine, 49(13), pp. 99–104.
10. Wang J., Gritsenko P.A., Aranovskiy S. ., Bobtsov A.A., Pyrkin A.A. (2017). A method for increasing the rate of parametric convergence in the problem of identification of the sinusoidal signal parameters. Automation and Remote Control, 78(3), pp. 389–396.
11. Chen B. et al. Estimation of multi-sinusoidal signals: A deadbeat methodology //2016 IEEE 55th Conference on Decision and Control (CDC). IEEE, 2016. pp. 3763–3768.
12. Gromov V.S. et al. First-order frequency estimator for a pure sinusoidal signal //2017 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED). IEEE, 2017. pp. 7–11.

A. O. Vediakova (St. Petersburg State University, St. Petersburg), A. A. Vedyakov, A. A. Pyrkin, A. A. Bobtsov, V. S. Gromov (ITMO University, St. Petersburg)

Finite Time Multi-sinusoidal Signal Frequency Estimation

The paper presents a method for finite time frequencies estimation of multi-sinusoidal signal. Delay operators are applied to the measured signal, and a linear regression model is constructed, containing the measured signals and a constant vector, depending on unknown frequencies. Dynamic Regressor Extension and Mixing method is used to synthesize independent first order regression models. Then, standard gradient descent method used to unknown parameters estimates independently of each other. On the last step, the finite-time frequency estimate is found algebraically.

Е. Н. КАРУНА, П. В. СОКОЛОВ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ РУССКОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТОВ

В данной работе выполняется сравнительный анализ методов автоматической классификации текстовой информации с помощью различных алгоритмов машинного обучения, основанных на искусственных нейронных сетях. В работе рассмотрены результаты классификации текстовых данных для различных способов формирования векторного пространства, такие как bag of words, n-граммы, векторное представление слов, и различные архитектуры нейронных сетей, исследования проводились применительно к корпусу текстов на русском языке.

Введение. Большое количество текстовых данных, хранящихся как в открытых источниках, так и в закрытых базах данных предприятий, требуют качественных инструментов для анализа этих данных, в частности, для автоматической категоризации этих данных. Одной из проблем задач машинной классификации текстов является то, что текстовые данные не всегда можно однозначно определить к одному из конкретных классов по количественному составу всех слов, входящих в документ, решением этих проблем является разработка системы классификации, учитывающей взаимное расположение слов внутри текста. На текущий момент доступно достаточно большое количество материалов по исследованию систем классификации текстовой информации, но при этом, практически отсутствуют исследования, посвященные системам автоматической классификации данных, состоящих из русскоязычного набора текстов, хотя особенности грамматики русского языка могут значительно влиять на результаты работы подобных систем. В предлагаемом докладе выполняется сравнительный анализ методов автоматической классификации, и даются выводы о результатах работы исследуемых систем для русскоязычного корпуса данных.

Решение задачи классификации можно разделить на 2 основных этапа: предварительная обработка текстовых данных и алгоритм машинного обучения. Первый этап необходим для преобразования исходного текста в набор признаков, который представляет собой числовой вектор или матрицу. На втором этапе уже происходит реализация одного из алгоритмов машинного обучения, который должен быть способен по набору признаков текста в виде вектора или матрицы, определить его тематическую принадлежность.

Предварительная обработка текстовых данных. На данном этапе необходимо выполнить ряд задач: удаление небуквенных символов из текста, разбиение текста на набор токенов, удаление стоп-слов, выполнение операции приведения к основе слова. Удаление небуквенных символов и стоп-слов является стандартной процедурой и позволяет очистить текст от лишних элементов, которые слабо влияют на общую тематику текста. Для приведения к основе слова применяется один из двух способов: стемминг и лемматизация, в первом случае выполняется грубое отсечение окончания слова по определённому алгоритму, во втором случае происходит приведение слова к своей начальной форме, согласно языковой грамматике.

Определение тематики текстов требует наличия заранее промаркированного корпуса данных, который будет использоваться для обучения алгоритма. Корпус текстов был взят из библиотеки corus [1]. В данной работе выбран набор более чем из 102 тысяч новостных статей интернет-издания «Lenta.ru» на русском языке, разбитых на 10 категорий. Каждая новостная статья, помимо основного текста и заголовка имеет метку темы, каждая тема является отдельной категорией. Вся коллекция текстов была разбита на 2 группы: обучающая и тестовая, где размер обучающей группы составлял 80 % от общего числа текстов. Были проведены исследования с некоторыми распространёнными моделями нейронных сетей [2]. Далее, будут отдельно рассмотрены некоторые из них.

Сеть прямого распространения. Для сетей прямого распространения вход подаётся одиночный числовой вектор, и каждый вектор отвечает за один текст из корпуса данных. Наиболее распространенный способ составления входного вектора текста это BOW (Bag of words – ме-

шок слов). В данной работе были использованы 2 вида статистической меры, для вычисления значений векторов TF и TF-IDF, формулы 1 и 2 соответственно:

$$tf_i = \frac{n_{id}}{\sum_{j=1}^{i_{\max}} n_{jd}} \quad (1)$$

$$tfidf_i = tf_i \times \ln\left(\frac{|D|}{\left|\{d \mid i \in d\}\right|}\right) \quad (2)$$

где tf_i – частота употребления слова i в документе d, n_{id} – количество слов i в документе d, $imax$ – размер словаря, $\sum_{j=1}^{i_{\max}} n_{jd}$ – количество слов в документе d. D – набор всех документов в корпусе, $|D|$ – количество документов в коллекции, $\left|\{d \mid i \in d\}\right|$ – число документов, в которых встречается слово i.

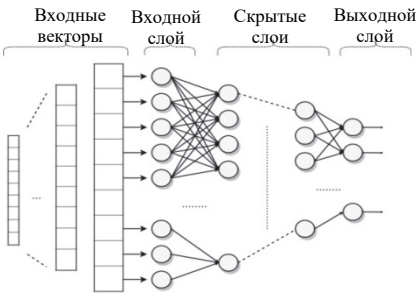


Рис. 1. Нейронная сеть прямого распространения

Размерность векторов ограничена и определяется пользователем. Были проведены исследования точности классификации при использовании различных статистических мер составления векторов, различных размерах входного вектора, различных способах нахождения основы слова. Также получены результаты классификации при составлении словаря как из отдельных слов (униграмм), так и из сочетаний по 2 или 3 слова (биграммы и триграммы, соответственно).

Для следующих экспериментов был использован подход, известный как векторное представление слов, при котором каждое слово представляет собой отдельный вектор [3]. Преимуществом этого подхода является то, что он позволяет применять алгоритмы машинного обучения, которые учитывают не только количественный состав всех слов в тексте, но, также, взаимное расположение слов внутри всего текста. В данной работе будет использоваться предобученная модель векторного представления слов.

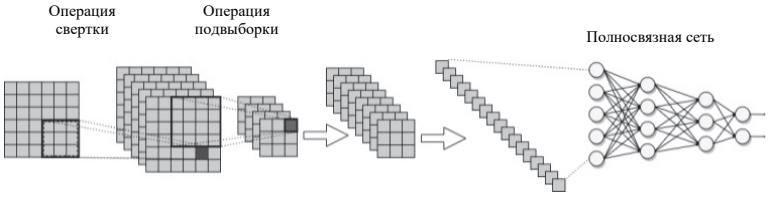


Рис. 2. Сверточная нейронная сеть

Свёрточная нейронная сеть. Модель CNN (convolutional neural network – сверточная нейронная сеть) активно используется при решении задач распознавания образов. При решении таких задач входные данные представляют собой матрицу фиксированного размера. Построить матрицу можно путём склеивания векторов, полученных при использовании алгоритма векторного представления слов. Суть алгоритма в попеременном применении на числовой матрице операций свёртки, для активаций нейронов и операции подвыборки для уменьшения размерности матрицы. В итоге матрица преобразуется в вектор, который поступает на вход сети прямого распространения.

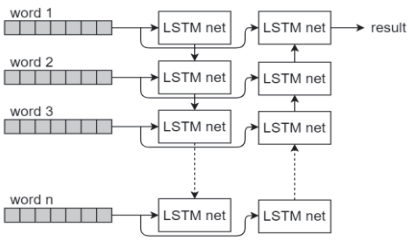


Рис. 3. Рекуррентная нейронная сеть с BiLSTM слоем

Рекуррентная нейронная сеть. Существует большое разнообразие алгоритмов на основе рекуррентных нейронных сетей, на данный момент одним из самых распространенных является LSTM-сеть (Long short-term memory) и её разновидность BiLSTM (Bidirectional Long short-term memory) – нейронная сеть с рекуррентным слоем, состоящим из LSTM-блоков, и проходящих входной массив данных в прямом и обратном направлении [4]. Особенностью рекуррентных нейронных сетей является связь между

нейронами, передающаяся во времени. Так, при отправке в сеть нескольких наборов данных, выходное состояние сети будет определяться не только текущим входом, но и теми данными, которые были отправлены ранее. Преимуществом LSTM-сетей является то, что они позволяют в течение неопределённого времени хранить накопленную информацию. Все результаты исследований были сведены в таблицу.

Таблица

Сравнение моделей алгоритмов классификации

Модель	Точность	Время обучения, сек
FFNN – BOW – TF-IDF – 1-gramm	0,872	1807
FFNN – BOW – TF-IDF – 2-gramm	0,891	1932
FFNN – BOW – TF-IDF – 3-gramm	0,868	1865
CNN	0,894	39563
BiLSTM	0,905	15892
LSTM	0,901	12685

По таблице видно, что лучшую точность классификации обеспечивает алгоритм нейронной сети с двунаправленным LSTM слоем, при этом разница между этим алгоритмом и другим является несущественной. Этот алгоритм выполняет обучение за время, значительно большее времени обучения модели любой конфигурации алгоритма с сетью прямого распространения. Помимо высокой скорости, модели на основе алгоритма мешка слов обладают достаточно высокой точностью и простым способом реализации, не требуя каких-либо предобученных моделей. Нейронная сеть на основе сверточной нейронной сети имеет достаточно высокую точность, сопоставимую с рекуррентными сетями, но требуют очень большого времени обучения.

Заключение. В данной работы были продемонстрированы некоторые распространенные алгоритмы автоматической классификации текстовых данных на новостном корпусе русскоязычных текстов. По полученным результатам видно, что рекуррентные нейронные сети с LSTM слоем показывают очень хорошие показатели эффективности в классификации текстов русскоязычного корпуса данных. Сверточные нейронные сети также демонстрируют достаточно высокий уровень точности классификации. Отличие этих моделей от моделей на основе мешка слов заключается в том, что они способны учитывать семантическую связь между словами. Нечто подобное способны продемонстрировать также модели с использованием биграмм и триграмм, но их результаты оказались хуже, чем в других моделях. Данное исследование показывает разницу между некоторыми распространенными моделями анализа текстовых данных и демонстрирует их показатели эффективности на основе решения задачи классификации текстов в русскоязычном корпусе данных. Дальнейшие исследования могут быть направлены на улучшение существующих алгоритмов анализа текстовых данных на основе полученных результатов для решения различных задач обработки естественного языка.

ЛИТЕРАТУРА

1. natasha/corus: Links to Russian corpora, python functions for loading and parsing. https://github.com/natasha/corus
2. Kowsari K., Jafari Meimandi K., Heidarysafa M., Mendu S., Barnes L., Brown D. Text Classification Algorithms: A Survey. Information 2019, 10(4), 150
3. Bin Wang, Angela Wang, Fenxiao Chen, Yuncheng Wang, C.-C. Jay Kuo. Evaluating Word Embedding Models: Methods and Experimental Results. APSIPA Transactions on Signal and Information Processing 8 (2019)
4. Tao Chen, Ruifeng Xu, Yulan He, Xuan Wang. Improving sentiment analysis via sentence type classification using BiLSTM-CRF and CNN. Expert Systems with Applications. Vol. 72. 2017. P. 221-230

E.N. Karuna, P.V. Sokolov (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg)

Comparison of Methods for Automatic Classification of Russian-language Texts

In this paper, we carry out a comparative analysis of methods for automatic classification of text information using various machine learning algorithms based on artificial neural networks. The paper considers the results of the classification of text data for various ways of forming a vector space, such as bag of words, n-grams, word embedding, and various architectures of neural networks, the research was carried out in relation to the corpus of texts in Russian language.

М. А. ГЛУХОВ, Э. Д. ГЛУХОВА, Ю. П. ГРЕЧИХА, А. С. БАРУЛИН
ФГУП «ГосНИИАС», Москва

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАДРОВ АВИАЦИОННЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПУЛЬТОВ И ИНДИКАТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Разработка кадров многофункциональных пультов и индикаторов сопряжена с рядом особенностей, следствием которых является как существенная трудоемкость выпуска документации, так и необходимость унификации проектируемых интерфейсов на ранней стадии разработки. Для упрощения работы и повышения качества результата было разработано специализированное ПО, позволяющее строить модель человеко-машинного интерфейса и с ее помощью выпускать документацию на кадры в автоматизированном режиме. В настоящее время ПО используется в работах по контрактам ФГУП «ГосНИИАС».

Введение. В настоящее время в авиационной отрасли особую актуальность приобретают вопросы автоматизации проектирования кадров многофункциональных пультов (МФПУ) и индикаторов (МФЦИ) в свете модернизации самолетов военной авиации, а также разработки новых перспективных ЛА, в состав бортового оборудования которых входят подобные приборы. Разработка сложных авиационных эргатических систем требует учитывать большое количество факторов, необходимых для создания эффективных человеко-машинных интерфейсов [1].

ФГУП «ГосНИИАС» имеет большой опыт в разработке кадров многофункциональных пультов и индикаторов, а также их отработке на стендах. В ходе работ были выявлены следующие особенности:

- наличие значительного количества элементов, внешний вид и поведение которых необходимо детально описывать для каждого кадра;
- документация на кадры, дорабатываемая и проверяемая при каждой итерации разработки, содержит несколько связанных между собой таблиц, ручная проверка которых имеет большую трудоемкость;
- наличие нескольких участников, ведущих самостоятельную разработку;
- значительное количество кадров, делающее невозможным создание целостного интерфейса эмпирическим путем;
- частые изменения кадров, вызванные доработками функционального программного обеспечения (ФПО) и логики работы экипажа.

Предлагаемый доклад посвящен автоматизации процесса проектирования кадров путем использования специализированного программного обеспечения: «АСП МФПУ» и «АСП МФЦИ», разработанных ФГУП «ГосНИИАС».

Построение лексикона человеко-машинного взаимодействия. При создании программного обеспечения (ПО) были проанализированы существующие и вновь разрабатываемые человеко-машинные интерфейсы многофункциональных пультов и индикаторов и разработан лексикон человеко-машинного взаимодействия [2], содержащий в себе унифицированные функции ввода-вывода информации, а также другие общие условности, такие, как, например, цветовое кодирование информации [3].

Особенности и базовый функционал ПО. В соответствии с разработанным лексиконом были спроектированы базы данных, содержащие модели человеко-машинного интерфейса кадров, включающие в себя все элементы интерфейса в древовидной иерархической структуре, а также все их свойства.

Далее были разработаны графические редакторы, позволяющие заполнять эти базы данных. Для многофункционального пульта был также разработан интерактивный имитатор, позволяющий отрабатывать логику работы экипажа с пультом сразу после создания в редакторе соответствующих элементов интерфейса (рис. 1).

Рис. 1. Имитатор МФПУ

Для удобства документирования была реализована функция автоматизированной выгрузки программ функционирования кадров. Благодаря этой функции исчезла необходимость ручной разработки и проверки таблиц программ функционирования, которая имела существенную трудоемкость и повышала вероятность ошибок. Существенным преимуществом автоматизированной выгрузки программ функционирования является также их единообразие.

Также, при участии специалистов по бортовым интерфейсам, был разработан модуль генерации протоколов информационного взаимодействия с бортовой интерфейсной станцией и заголовочных файлов для соответствующего функционального программного обеспечения (ФПО).

Разработка кадров с использованием ПО. При разработке человеко-машинного интерфейса вначале определяются требования к кадрам, а именно перечень задач, которые будет решать экипаж с их использованием.

Затем создается модель кадровой структуры и каждого кадра в отдельности с использованием графического интерфейса ПО (рис. 2) [3].

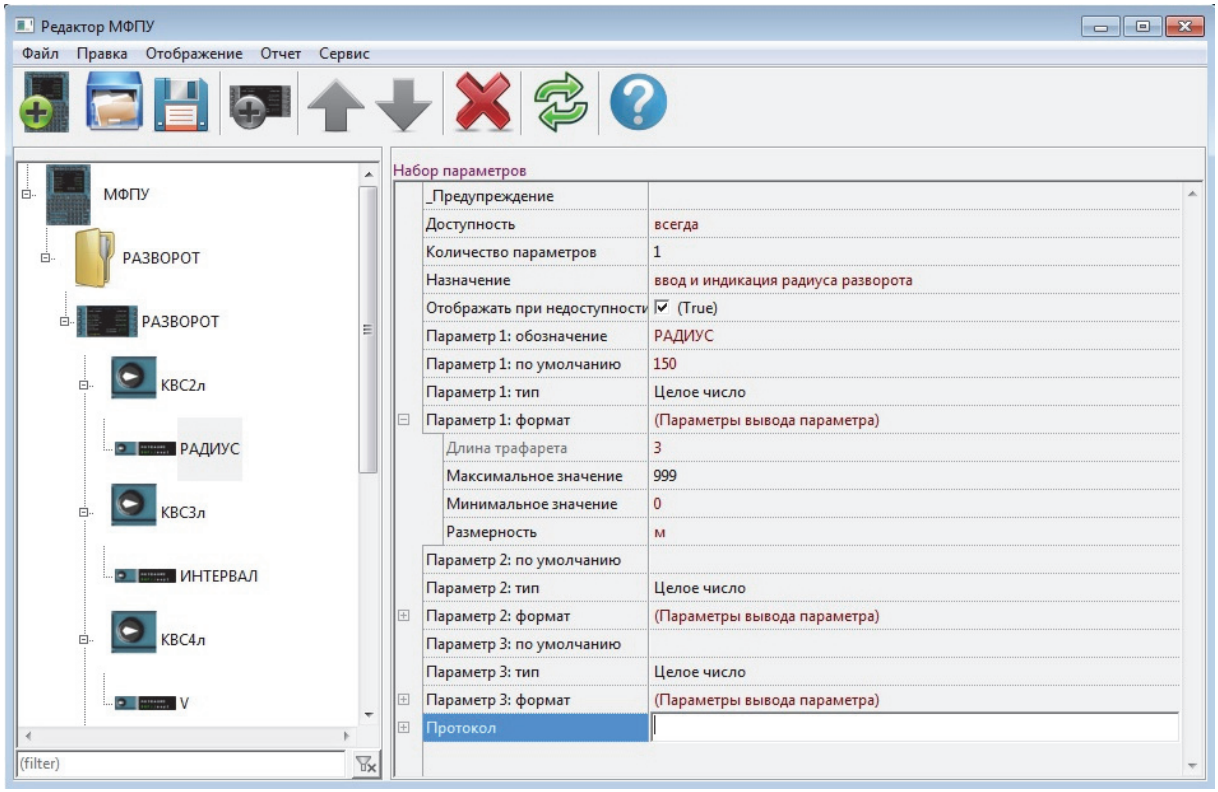


Рис. 2. Интерфейс ПО «АСП МФПУ»

При создании модели в ПО «АСП МФПУ» сразу после создания элемента интерфейса его работу можно наблюдать на встроенном имитаторе МФПУ, что позволяет отрабатывать логику работы экипажа уже в процессе разработки кадров на персональном компьютере.

Автоматизированное документирование кадров. После создания модели человеко-машинного интерфейса возможно произвести автоматизированную выгрузку документации:

- программ функционирования кадров;
- протоколов информационного взаимодействия;
- заголовочных файлов для ФПО;
- графических изображений кадров и МФПУ (при работе с ПО «АСП МФПУ»);
- других необходимых отчетов и таблиц.

Выгрузка текстовой документации производится в формате .lyx, а затем конвертируется в документы, соответствующие ГОСТ ЕСПД. Выгрузка графических изображений производится в формате .png для удобства использования при разработке логики работы экипажа.

Заключение. Таким образом, благодаря построению лексикона человеко-машинного взаимодействия и использованию специализированного ПО, существенно повышается качество разработки кадров, так как разработка ведется на основе единого проработанного набора элементов, а документирование происходит в автоматическом режиме, что уменьшает количество ошибок; также существенно уменьшается трудоемкость разработки: отсутствует необходимость ручной проверки таблиц, а благодаря генерации протоколов информационного взаимодействия, исчезает необходимость участия в разработке этих протоколов специалистов по бортовым интерфейсам.

Возможность отработки логики работы экипажа на этапе проектирования существенно улучшает эргономические качества интерфейса разрабатываемых кадров, поскольку системные качества технического и человеческого компонентов – эргономичность со стороны техники, эффективность и надежность действий со стороны человека – не существуют изолированно одно от другого [4].

В данный момент ПО используется для разработки и отработки кадров в лабораториях ФГУП «ГосНИИАС».

ЛИТЕРАТУРА

1. Энциклопедический справочник по авиационной эргономике и экологии / Под редакцией Г.П. Ступакова, В.Г. Сыроватко, О.Т. Балуева М.: Издательство ИП РАН, 1997. 512 с.
2. Алан Купер, Роберт Рейман, Дэвид Кронин, Кристофер Носсел Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия. 4-е изд. СПб.: Питер, 2017. 720 с.: ил. (Серия «Для профессионалов»).
3. **Глухова Э.Д., Глухов М.А., Кривоноженков В.А., Целиков А.С**. «Технология разработки вариантов индикационных форматов, обеспечивающих решение функциональных задач авиационных комплексов» // ТРУДЫ ГосНИИАС. Вопросы авионики. Выпуск 1 (47) 2020. С. 21-26.
4. **Сильвестров М.М., Бегичев Ю.И., Варочко А.Г., Козиоров Л.М., Луканичев В.Ю., Наумов А.И., Черныш ов В.А**. эргатические интегрированные комплексы летательных аппаратов / Под ред. Сильвестрова М.М. М.: Филиал Воениздата. 2007. 512 с.

M.A. Glukhov, E.D. Glukhova, Yu.P. Grechikha, A.S. Barulin (State Research Institute of Aviation Systems, Moscow)

Application of In-House Software to Improve the Design Process of Multifunctional Aircraft Indicators and Control Panels

The development process of frames for MCDU (Multipurpose Control and Display Unit), MFD (Multi Function Display) and PFD (Primary Flight Display) involves a significant documentation effort and must produce consistent interface design at the early stages. We developed custom software to simplify these tasks and improve the overall design quality. The software builds a model of the human-machine interface and uses it to automatically generate frame documentation. The software is currently used in commercial projects.

Секция 5

■ БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ■

И. Б. САЕНКО, И. Б. ПАРАЩУК, И. В. КОТЕНКО
Санкт-Петербургский институт информатики
и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербург

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНЕНТА УСТРАНЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ОЦЕНКИ И КАТЕГОРИЗАЦИИ СМЫСЛОВОГО НАПОЛНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Проведен анализ компонента устранения неполноты и противоречивости оценки и категоризации смыслового наполнения информационных объектов для системы интеллектуальной аналитической обработки цифрового сетевого контента в целях защиты от нежелательной, сомнительной и вредоносной информации. Этот анализ проведен с точки зрения экспертной оценки качества программных средств, опираясь на сформулированные и обоснованные показатели качества, с учетом функциональных и иных требований к данному компоненту. Определены обобщенный интегральный показатель качества и общий класс качества компонента.

Введение. Важной задачей в рамках создания системы интеллектуальной аналитической обработки цифрового сетевого контента (ЦСК) в целях защиты пользователей инфотелекоммуникационных сетей от нежелательной, сомнительной и вредоносной информации, является теоретическая и экспериментальная оценка методов, моделей, методик, алгоритмов и программных прототипов компонентов этой системы.

Одно из ключевых мест в структуре современной системы интеллектуальной аналитической обработки ЦСК, наряду с компонентами сбора и предварительной обработки сетевых информационных объектов, многоаспектной оценки и категоризации смыслового наполнения (СН) информационных объектов, обеспечения своевременности многоуровневого и многомодульного анализа информационных объектов, адаптации и переобучения, а также компонентами выработки (выбора) мер противодействия и реализации визуальных интерфейсов, занимает компонент устранения неполноты и противоречивости оценки и категоризации СН информационных объектов, построенный на основе использования методов, алгоритмов и программных процедур обработки неполных, противоречивых и нечетких знаний.

Сущность проблемы заключается в том, что никакую научную, исследовательскую и практическую работу по созданию и подготовке к внедрению в систему интеллектуальной аналитической обработки ЦСК компонента устранения неполноты и противоречивости оценки и категоризации СН информационных объектов, нельзя читать завершенной, пока не реализован важнейший комплекс задач – проверка качества данного компонента. Тем более, что речь идет об оригинальном компоненте, способном работать в условиях различного вида неопределенности исходных данных, способном устранить как нечеткость, так и неполноту и противоречивость оценки и категоризации СН информационных объектов. Существующим традиционным подходом к решению подобной проблемы является теоретический и экспериментальный анализ данного компонента в рамках интеллектуальной аналитической обработки ЦСК в целях защиты от нежелательной, сомнительной и вредоносной информации.

Предлагаемый доклад посвящен описанию особенностей и результатов реализации этапов методологии теоретического и экспериментального анализа для конкретного элемента системы интеллектуальной аналитической обработки ЦСК – компонента устранения неполноты и противоречивости оценки и категоризации СН информационных объектов.

Особенности этапов, показатели и результаты теоретического и экспериментального анализа компонента устранения неполноты и противоречивости. Задачу, стоящую перед нами можно сформулировать следующим образом. Сервисы интеллектуальной аналитической обработки ЦСК, с точки зрения оценки качества представляют собой программные средства. По этой причине методология теоретической и экспериментальной оценки методов, моделей, методик, алгоритмов и программных прототипов интеллектуальной аналитической обработки ЦСК должна основываться на имеющихся отечественных и международных стандартах в области оценки качества программных средств.

Основные понятия, показатели качества и общий подход к анализу. С учетом того факта, что анализировать принято конечный продукт разработки – программные средства (ПС), рассмотрим основные понятия [1]: «качество ПС» – совокупность свойств ПС, которые обусловливают его пригодность удовлетворять заданные или подразумеваемые потребности в соответствии с его назначением; «свойство ПС» – отличительная особенность ПС, которая может проявляться при его создании, использовании, анализе или изменении; «критерий оценки (качества ПС)» – совокупность принятых в установленном порядке правил и условий, с помощью которых устанавливается приемлемость в целом качества программного средства.

С учетом этого обычно определяют понятие «уровень пригодности (программного средства)» – степень удовлетворения потребностей, представленная посредством конкретного набора значений характеристик качества ПС. В соответствии со стандартом [2] понятие «оценка качества программного средства» раскрывается как совокупность следующих операций: выбор номенклатуры показателей качества оцениваемого программного средства; определение значений этих показателей; сравнение их с базовыми значениями. Исходя из этого определения, можно сделать вывод, что основными задачами, которые подлежат решению при оценке методов, моделей, методик, алгоритмов и программного прототипа компонента устранения неполноты и противоречивости оценки и категоризации СН информационных объектов в рамках системы интеллектуальной аналитической обработки ЦСК, являются: определение номенклатуры показателей качества и определение методики расчета значений этих показателей.

Принято определять шесть ключевых характеристик [3], которые с минимальным дублированием, описывают качество ПС и образуют основу для дальнейшего уточнения и описания качества программного обеспечения: функциональные возможности; надежность; практичность; эффективность; сопровождаемость и мобильность. Они, в свою очередь, являются комплексными показателями качества ПС и включают [3]: функциональные возможности – пригодность, правильность, способность к взаимодействию, согласованность, защищенность; надежность – стабильность, устойчивость к ошибке, восстанавливаемость; практичность – понятность, обучаемость и простота использования; эффективность – характер изменения во времени и характер изменения ресурсов; сопровождаемость – анализируемость, изменяемость, устойчивость и тестируемость; мобильность – адаптируемость и взаимозаменяемость.

Общая методика анализа качества ПС опирается на мнения экспертов и включает в себя следующие шаги. На первом шаге осуществляется определение множества экспертов и множества возможных оцениваемых показателей качества. На втором этапе каждый эксперт осуществляет присвоение каждому из оцениваемых показателей баллов от 0 до 5 в соответствии с заданными критериями оценивания факторов качества в баллах. Затем осуществляется вычисление интегрального показателя качества для каждого эксперта (с учетом заранее оговоренных весовых коэффициентов). Потом, в зависимости от значения интегрального показателя качества определяется обобщенный интегральный показатель качества и класс качества программного средства. Значение обобщенного интегрального показателя качества рассчитывается как средневзвешенное значение с учетом нормированных весовых коэффициентов, характеризующих компетентность экспертов. В итоге, определяется класс качества ПС в соответствии со значениями обобщенного интегрального показателя качества (отличный (0–0,25), хороший (0,25–0,5), удовлетворительный (0,5–0,75), неудовлетворительный (0,75–1,0)).

Содержание и результаты анализа компонента устранения неопределенности оценки и категоризации СН информационных объектов. Для решения задачи анализа составлен перечень функциональных требований к компоненту устранения неопределенности оценки и категоризации смыслового наполнения информационных объектов, он детализирован под эту конкретную задачу, обозначается буквой латинского алфавита, опирается на рассмотренные ранее комплексные показатели качества и включает: показатели функциональных возможностей (определяются на основе функционального тестирования) – поддержка взаимодействия с другими компонентами (*A*), возможность предварительной обработки (*B*), ввод и обработка экспертной информации (*C*), решение задачи устранения неопределенности на основе вычисления систем нечетких множеств и реализация алгоритмов нейросетевой идентификации (*D*), вывод данных (*E*); показатели эффективности (определяются на основе нагрузочного тестирования) – временные показатели устранения неоднозначности (нечеткости) оценки и категоризации (*F*) и временные показатели устранения недостаточности (неполноты, противоречивости) атрибутов СН информационных объектов (*G*); показатели сопровождаемости (определяются на основе статического анализа) – гибкость списка (данных) результатов предварительного анализа (*H*), гибкость входного формата экспертной информации (*I*) и гибкость формы отчетов (*J*); показатель мобильности – кроссплатформенность (*K*).

Получена статистика по экспертным оценкам вышеперечисленных показателей, которые были сделаны 10 экспертами. Было выполнено распределение весовых коэффициентов для оцениваемых показателей (*A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *I*, *J* и *K*). Для этой цели каждый эксперт упорядочивал показатели по убыванию их приоритета. Произведены вычисления интегральных показателей качества для всех экспертов. Затем эти коэффициенты были нормализованы с учетом компетентности экспертов и, в зависимости от значения интегрального показателя качества, был определен обобщенный интегральный показатель качества и класс качества программного средства. Расчетное значение обобщенного интегрального показателя качества составило 0,254.

Таким образом, согласно ранее введенным критериям, класс качества компонента устранения неопределенности оценки и категоризации смыслового наполнения информационных объектов на основе использования методов обработки неполных, противоречивых и нечетких знаний равен 1, что соответствует по уровню ранжирования качества, «хорошему» уровню.

Заключение. Таким образом, в соответствии с принятой методологией, проведен теоретический и экспериментальный анализ компонента устранения неполноты и противоречивости оценки и категоризации СН информационных объектов в рамках интеллектуальной аналитической обработки ЦСК в целях защиты от нежелательной, сомнительной и вредоносной информации. Этот анализ проведен с точки зрения экспертной оценки качества программных средств, опираясь на сформулированные и обоснованные показатели качества, с учетом функциональных и иных требований к данному компоненту. Определены обобщенный интегральный показатель качества и класс качества компонента устранения неопределенности оценки и категоризации смыслового наполнения информационных объектов. Возможным направлением дальнейших исследований может быть теоретический и экспериментальный анализ методов, моделей, методик, алгоритмов и программного прототипа компонента выработки и выбора мер противодействия нежелательной, сомнительной и вредоносной информации.

Работа проводилась при поддержке гранта РНФ № 18-11-00302

ЛИТЕРАТУРА

1. International Standard ISO/IEC TR 9126-4:2004. Software engineering. Product quality. Part 4: Quality in use metrics. JTC 1/SC 7. 2004. 66 p.
2. International Standard ISO/IEC 25010:2011(E). Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and software quality models. JTC 1/SC 7. 2011. 44 p.
3. Marinescu C. Quality Assessment of Enterprise Software Systems. *Published in: 2006 13th Working Conference on Reverse Engineering*. 2006. IEEE Xplore. P. 28–36.

I.B. Saenko, I.B. Parashchuk, I.V. Kotenko, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), St. Petersburg

Theoretical and experimental analysis of the component of removing uncertainty evaluating and categorizing the semantic content of information objects

The analysis of the component to eliminate the incompleteness and inconsistency of the assessment and categorization of the semantic content of information objects for the system of intelligent analytical processing of digital network content in order to protect against unwanted, doubtful and malicious information is carried out. This analysis was carried out from the point of view of expert evaluation of the quality of software tools, relying on formulated and reasonable quality indicators, taking into account the functional and other requirements for this component. The generalized integral indicator of quality and the general class of component quality are determined.

И. Б. ПАРАЩУК, И. Б. САЕНКО
Санкт-Петербургский институт информатики
и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербург

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕКОНФИГУРАЦИИ ПОЛИТИК РАЗГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА В ОБЛАЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрен подход к решению задачи оценки качества процесса реконфигурации политик разграничения доступа в критически важных облачных инфраструктурах. Сущность этой задачи заключается в обосновании выбора показателей качества и метода (в рамках теории интервальных средних) оценки процесса реконфигурации схемы разграничения доступа в условиях динамично изменяющейся политики разграничения доступа. Предложены решения, позволяющие существенно повысить достоверность оценки качества алгоритма реконфигурации.

Введение. Проблема обеспечения разграничения доступа к информационным и телекоммуникационным ресурсам и защиты этих ресурсов, несмотря на имеющиеся в этой области научные и практические результаты, по-прежнему остается актуальной теоретической и практической задачей. В еще большей степени ее актуальность возрастает в случае интеграции разнородных ресурсов в облачных инфраструктурах критически важных информационных систем. Важнейшим из всех процессов, реализуемых в рамках этой проблемы, является процесс реконфигурации политик разграничения доступа (РПРД) [1].

При реализации процесса РПРД в облачных инфраструктурах критически важных информационных систем, ключевым вопросом теории и практики реконфигурации, ее обеспечения и текущего контроля, является математическое моделирование данного процесса, разработка алгоритмов и методов расчета, оценки и прогнозирования ее качества. Существующие подходы к решению задачи оценки качества процесса РПРД не универсальны, не учитывают целый ряд уникальных свойств, особенностей и динамики данного процесса, неполноту и неоднородность исходной информации о текущих значениях его показателей качества. Данное направление научно-практических исследований ориентировано на разработку новых методов расчета и многокритериального анализа качества процесса РПРД при неполной информации. Причем, оригинальность исследований состоит не только, и не столько, в создании современного методического и практического инструментария для анализа качества процессов такого класса, но и в сложности, многообразии и особых требованиях суперсистемы – облачной инфраструктуры критически важных информационных систем (КВИС).

Предлагаемый доклад посвящен рассмотрению общего подхода, сущности, особенностей и содержания этапов создания надежной методологической базы, позволяющей анализировать текущее состояние и качество процессов РПРД в интересах оптимального построения и управления ими для защиты ресурсов облачной инфраструктуры КВИС.

Актуальные вопросы разработки методики многокритериального анализа качества процесса реконфигурации политик разграничения доступа. Процесс РПРД представляет собой процедуру изменения существующей конфигурации связей между элементами (процедурами, механизмами) политики разграничения доступа к информационным ресурсам облачной инфраструктуры КВИС, выполняемую вручную или автоматически. Информационный ресурс облачной инфраструктуры КВИС – поименованная совокупность критически важных данных, хранимых и обрабатываемых в облачной инфраструктуре КВИС, к которой применяется политика (инструкции, методы, средства) обеспечения информационной безопасности.

Политика разграничения доступа в облачных инфраструктурах КВИС – совокупность документируемых административных (организационных), программно-аппаратных (физических) и юридических решений, а также набор правил, инструкций и ограничений (регламентов), однозначно и недвусмысленно определяющих (регламентирующих) все аспекты и саму модель контроля доступа – как процедурно-поведенческую модель деятельности должностных лиц и аппаратно-программных средств обеспечения информационной безопасности облачных инфраструктур КВИС в области разграничения доступа к ресурсам.

Помимо этого, существует ряд подходов к определению самого понятия «качество» любого процесса, включая процесс РПРД. Качество процесса – степень соответствия совокупности присущих характеристик процесса требованиям [2], Иногда говорят, что качество какого-либо процесса – это совокупность объективно присущих этому процессу свойств и характеристик, уровень или вариант которых формируется при определении цели процесса с целью удовлетворения существующих потребностей. Некоторые исследователи опираются на подход, изложенный в работе [3]: качество процесса – совокупность его свойств. В узком смысле и для нашего процесса – свойство или совокупность существенных свойств процесса РПРД, обуславливающих его соответствие назначению (цели).

Уникальность задачи анализа качества процесса РПРД обусловлена рядом причин.

Во-первых, повышение сложности процесса РПРД, наличие в его составе уникальных процедур всегда позволяют использовать традиционные методы анализа качества, основанные на применении теории вероятностей. Это связано либо с отсутствием, либо с недостаточностью исходной информации о динамике процесса РПРД.

Во-вторых, поскольку процесс РПРД является сложным процессом, то информация (данные) о его протекании и реализации для защиты ресурсов облачной инфраструктуры КВИС имеет различные источники. Отсюда возникает задача комбинирования разнородной по физической сущности информации о качестве процесса РПРД, получаемой по разным каналам.

В-третьих, информация может быть получена и в результате мониторинга процесса РПРД непосредственно, т.е., в ходе получения некоторого числа пошаговых динамических наблюдений от датчиков, сенсоров, активаторов и др. процесса РПРД. Но, по этим точечным наблюдаемым значениям нельзя построить достоверные прогностические вероятностные оценки.

В-четвертых, существующие подходы к анализу качества сложных процессов в динамике их реализации вынуждены, поочередно либо в комплексе, использовать пошаговые, математически и методологически сложные, громоздкие методы совместного использования нечетких множеств, искусственных нейронных сетей или нейро-нечетких (гибридных) сетей. Это позволяет повысить достоверность оценок, но при этом оценки будут получены точечные, пошаговые, что не всегда рационально. Зачастую предпочтительнее интервальные оценки качества процесса РПРД, усредненные за период наблюдения.

В-пятых, существующие отечественные стандарты оценки нацелены на контроль качества в определенных точках процесса РПРД и по показателям, не всегда соответствующих современным реалиям. Вместе с тем, известные международные стандарты, например, [4], приоритетные акценты расставляют на вопросах непрерывной оценки качества и анализа рисков на всех стадиях процесса РПРД. Это лишний раз подчеркивает важность и своевременность решения задачи разработки современного, строгого математического подхода, позволяющего комбинировать получаемую и имеющуюся информацию для вычисления общих интервальных оценок качества процесса РПРД. Это задача создания нового, удобного методологического инструмента поддержки принятия решений по управлению процессом РПРД.

Для того чтобы качественно защитить ресурсы облачной инфраструктуры КВИС, процесс РПРД должен быть высоко динамичным. Это связано с тем, что параметры угроз и самой облачной инфраструктуры КВИС постоянно изменяются. Даже при наличии необходимого объема статистических данных о значениях показателей качества процесса РПРД, редко наблюдается устойчивость этих значений во времени. Поэтому, либо нельзя определить точный закон распределения значений показателей качества (ПК) процесса РПРД и требуется рассматривать целый класс распределений, либо вообще нельзя определить ни закон, ни класс, а только некоторые частные ПК. К таким ПК процесса РПРД можно отнести численные значения параметров, например, характеризующих: устойчивость процесса РПРД – среднее время восстановления процесса после сбоя (нарушения) конфигурации; оперативность (своевременность реакции) – длительность промежутка времени от момента поступления запроса на реконфигурацию до момента окончания ее выполнения; непрерывность процесса РПРД – среднее время перерыва между окончанием предыдущего этапа процесса РПРД и началом следующего; скрытность (безопасность) процесса РПРД – среднее время вскрытия процессов протекающих в контуре управления РПРД [5].

Для многокритериального анализа качества процесса РПРД в интересах защиты ресурсов облачной инфраструктуры КВИС, в таких случаях целесообразно, на наш взгляд, использовать

интервальные статистические модели (с использованием известных положений теории интервальных средних), что требует разработки новых методов анализа и их обоснования.

Существующие методы анализа качества сложных управляемых процессов при неполной информации, основанные на использовании теории возможностей и теории нечетких множеств, являются разрозненными и решают ограниченные классы задач. Отсутствие общих, единых подходов к их применению на основе математической строгости, отсутствие обоснованной и практичной интерпретации всего многообразия ПК процессов, подобных процессу РПРД, затрудняет их применение в области контроля и управления безопасностью ресурсов облачных инфраструктур КВИС. Поэтому очень важной является задача не только разработки новых, современных, нетрадиционных подходов к анализу качества процесса РПРД, но и четкой и строгой аргументации их применения, установления связи с традиционными вероятностными ПК сложных процессов. Решение данных задач актуально в настоящее время, способно существенно повысить достоверность оценки качества алгоритма РПРД при расширении объемов и географии применения облачных инфраструктур КВИС, при построении новых высоконадежных их элементов, которые должны удовлетворять современным требованиям по безопасности.

Заключение. Таким образом, рассмотрены сущность и особенности нового подхода к решению задачи оценки качества процесса РПРД в критически важных облачных инфраструктурах при неполной информации. Данный подход основан на применении интервальных статистических моделей (в рамках теории интервальных средних). Предложены и обоснованы некоторые показатели качества процесса РПРД, их оценка в рамках методов теории интервальных средних дает более достоверные результаты анализа качества этого процесса. Возможным направления дальнейших исследований является синтез оптимального множества показателей качества обеспечения безопасности информации для облачных инфраструктур критически важных информационных систем.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ № 18-07-01369

ЛИТЕРАТУРА

1. Shafig B., Vaidya J.S., Ghafoor A., Bertino E. A framework for verification and optimal reconfiguration of event-driven role based access control policies. *Publication in SACMAT`12: Proceedings of the 17th ACM symposium on Access Control Models and Technologies* (June 2012) P. 197–208.
2. Thoben K.D., Seifert M., Sitek P., Emde M., Tarditi R. Concept for Quality Control Management Services in Distributed Design Networks – Conceptual Paper. *Publication in IFIP International Federation for Information Processing*. vol. 257, Lean Business Systems and Beyond, Tomasz Koch, ed.; Boston: Springer, 2008. P. 461–471.
3. Mauch P.D. Quality management: theory and application. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. 143 p.
4. International Standard ISO/IEC/IEEE 15288:2015 «Systems and software engineering – System life cycle processes», NEQ. JTC 1/SC 7. 2015. 118 p.
5. Kolomeets M., Chechulin A., Kotenko I., Saenko I. Access control visualization using triangular matrices. *Publication in 2019 27th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP).* IEEE. 2019. P. 348–355.

I.B. Parashchuk, I.B. Saenko (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), St. Petersburg)

Assessment of the Quality of the Process of Reconfiguring Access Control Policies in Cloud Infrastructures of Critical Information Systems

Approaches to solving the problem of assessing the quality of the process of reconfiguring access control policies in critical cloud infrastructures are considered. The essence of this task is to substantiate the choice of quality indicators and the method (within the framework of the theory of interval averages) for assessing the process of reconfiguring an access control scheme under conditions of a dynamically changing access control policy. The solutions are proposed that allow to significantly increase the reliability of the quality assessment of the reconfiguration algorithm.

В. Д. ОЛИСЕЕНКО, М. В. АБРАМОВ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (СПб ФИЦ РАН)
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН),
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНОВАНИЯ ЛИЦ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ АККАУНТОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

В представленной работе поднимаются вопросы защиты сотрудников предприятий от социоинженерных атак при помощи оценки выраженности личностных особенностей, проводимой по профилю в социальных сетях. Для улучшения данной оценки необходимо найти профили одного пользователя в различных социальных сетях. Для более точного определения профилей предлагается использовать результат распознавания лиц в качестве атрибута в существующем методе. Данная работа посвящена возможности использования методов распознавания лиц для улучшения результатов идентификации аккаунтов пользователей в различных социальных сетях.

Введение. Киберпреступления становятся всё большей проблемой для предприятий, компаний и пользователей информационных систем. Согласно отчёту компании Verizon [1], ежегодно количество атак на информационные системы стремительно увеличивается. Вместе с этим также увеличивается процент атак с использованием социальной инженерии. Согласно исследованию [2], социальная инженерия проводилась в 84 % атак на предприятия с конечной целью установки вредоносного программного обеспечения. С программно-технической стороны вопросы анализа защищенности и защиты от кибератак достаточно хорошо изучены, активно исследуются различными коллективами [3, 4, 5]. В то же время вопросы анализа защищенности и защиты пользователей информационных систем от социоинженерных атак изучены в меньшей степени. Прежде всего, это обусловлено сложностью исследования данной области, так как объектом исследования является человек, а не программа. Сложность заключается в недетерминированности реакций пользователя на различные воздействия. В одной и той же ситуации на одно и то же социоинженерное атакующее воздействие пользователь в разное время может отреагировать по-разному. Ответные реакции пользователя могут зависеть от его личностных особенностей, психологического состояния, иных контекстов.

Оценка выраженности личностных особенностей пользователя может производиться посредством анализа публикуемого им в социальных сетях контента [6, 7]. При этом, чем больше такого контента удается извлечь, тем проще строить соответствующие оценки. Как правило, пользователи имеют несколько аккаунтов в разных социальных сетях. Извлечение информации из каждого позволяет агрегировать большее число сведений и, соответственно, упрощает построение оценок выраженности личностных особенностей пользователя. Таким образом, актуальной видится задача сопоставления профилей пользователей в разных социальных сетях с целью выявления принадлежащих одному человеку.

Задача сопоставления аккаунтов в различных социальных сетях не является новой, существуют подходы к её решению для различных социальных сетей. В [8] представлен обзор различных подходов и методов для определения принадлежности профилей в разных социальных сетях одному пользователю. Однако, представленные подходы применяются к социальным сетям «Facebook», «Twitter», «Foursquare» и некоторым другим, которые хоть и популярны в России, но не входят в топ-3 наиболее популярных [9]. Не все из предложенных в [8] подходов применимы к наиболее популярным в России социальным сетям «ВКонтакте» и «Одноклассники» [9]. Речь о том, что, например, социальная сеть «Twitter» не имеет многих атрибутов, которые обязательно присутствуют в социальной сети «ВКонтакте» или «Одноклассниках», таких как имя, фамилия, город, возраст и т. д. Кроме того, стоит отметить, что решение задачи сопоставления профилей в разных социальных сетях для разных ресурсов будет иметь свою специфику. Вместе с тем еще не существует канонического метода, позволяющего решать данную задачу без ошибок и с широкой применимостью.

Существуют подходы, ориентированные на социальные сети «ВКонтакте» и «Одноклассники», основанные на сравнении значений атрибутов профилей для выявления принадлежности их одному человеку [10, 11]. Но эти подходы не достигают стопроцентной точности и приме-

нимости, то есть актуальной остается задача автоматизации идентификации профилей пользователей в разных социальных сетях. Одним из вариантов улучшения данных подходов может быть учет такой важной информации из профиля пользователя как фотографии. Сравнивая лица на фотографиях профилей в разных социальных сетях и добавляя результаты сравнения в качестве признака, например, в алгоритм, предложенный в [11], ожидается, что можно будет улучшить оценку идентификации и сделать её более устойчивой.

Предлагаемый доклад посвящён возможности использования методов распознавания лиц на фотографиях пользователей в социальных сетях, в контексте использования их в подходе [11] определения профилей пользователя в социальных сетях «ВКонтакте» и «Одноклассники»

Предложенный подход.

Согласно подходу, предложенному в [11], решается задача бинарной классификации, где X – множество сопоставленных пар профилей пользователей социальных сетей «ВКонтакте» и «Одноклассники», а Y – множество классов {0; 1}, где 0 означает, что пара профилей не принадлежит одному пользователю, а 1 – что принадлежит. Признаками классификации выступают числовые результаты сопоставления значений соответствующих атрибутов из профилей пользователей «фамилия», «имя», «город», «возраст», «список друзей».

В рамках данного доклада предлагается рассмотреть возможность включения результатов распознавания лиц как признака бинарной классификации. Целесообразность данного включения обосновывается тем, что оно предположительно поможет избежать ложноположительного решения классифицирующей модели, когда владельцы профилей являются полными тезками, проживают в одном городе или имеют одинаковый возраст. Это может быть актуально для людей с распространёнными фамилиями и одинаковыми именами. Так только в социальной сети «ВКонтакте» людей с именем и фамилией «Иван Иванов», проживающих в Санкт-Петербурге 10 306 человек.

Существующие подходы. Распознавание лиц на фотографии состоит из четырёх этапов [12]:

1. Найти лица на фотографии;
2. Распознать каждое лицо, несмотря на разное освещение и угол фотографии;
3. Определить каждую особую черту лица;
4. Сравнить лица разных людей.

Для каждого из этапов существует множество разных методов их решения. Однако мы рассмотрим существующие комплексные программные решения. Так в статье [13] проводится обзор популярных библиотек компьютерного зрения, позволяющих решать каждый из этапов распознавания лиц. Авторы представленной работы рассматривают следующие библиотеки: OpenCV, OpenCV с IPP, LTI и VXL. Проанализировав данные библиотеки, авторы пришли к выводу, что OpenCV является лучшей библиотекой для распознавания лиц так как имеет следующие преимущества: быстрота работы, гибкость в выборе методов для каждого этапа распознавания лиц, открытый исходный код, также кроссплатформенная и кросс-языковая реализация библиотеки. Используя данную библиотеку, планируются получать оценки вероятности принадлежности лица на фотографии одному человеку. Таким образом, новый атрибут в модели [11] будет представлять собой вероятность принадлежности лица одному человеку, лежащего в диапазоне [0,1].

Заключение. В докладе представлен подход к использованию методов распознавания лиц на фотографиях пользователей в социальных сетях, в контексте использования их в подходе [11] определения профилей одних и тех же пользователей в социальных сетях «ВКонтакте» и «Одноклассники». Агрегирование большего количества сведений упрощает построение оценок выраженности личностных особенностей пользователя, и опосредовано, помогает в предотвращении социоинженерных атак на пользователей, компаний и предприятий.

Работа выполнена в рамках проекта по государственному заданию СПИИРАН № 0073-2019-0003, при финансовой поддержке РФФИ, проект №20-07-00839, №18-01-00626.

ЛИТЕРАТУРА

1. Verizon Data Breach Investigations Report 2018. 2019. URL: https://www.researchgate.net/profile/Suzanne_Widup/publication/324455350_2018_Verizon_Data_Breach_Investigations_Report/links/5ace9f0b0f7e9b18965a5fe5/2018-Verizon-Data-Breach-InvestigationsReport.pdf?origin=publication_detail
2. Ptsecurity – Актуальные киберугрозы: итоги 2019 года. 2020. URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2019/
3. **Браницкий А.А., Котенко И.В.** Анализ и классификация методов обнаружения сетевых атак // Труды СПИИРАН. 2016. № 45 (2). С. 207-244.
4. **Котенко И.В., Паращук И.Б.** Верификация недостоверных параметров модели обнаружения вредоносной информации // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. №2. С. 7–18.
5. **Zhang Y., Zhang L. Y., Zhou J., Liu L., Chen F**. A Review of Compressive Sensing in Information Security Field // IEEE Access. 2016. vol. 4. pp. 2507–2519.
6. **Абрамов М. В., Тулупьева Т. В., Тулупьев А. Л.** Социоинженерные атаки: социальные сети и оценки защищенности пользователей // СПб. ГУАП, 2018. 266 с. ISBN 978-5-8088-1377-5.
7. **Kharitonov N.A., Maximov A.G., Tulupyev A.L.** Algebraic Bayesian Networks: Naïve Frequentist Approach to Local Machine Learning Based on Imperfect Information from Social Media and Expert Estimates // Communications in Computer and Information Science. 2019.
8. **Hazimeh H., Mugellini E., Khaled O. A., CudréMauroux P.** SocialMatching++: A Novel Approach for Interlinking User Profiles on Social Networks // In Proceedings of PROFILES'17@ ISWC. 2017.
9. Статистика социальных сетей в России на 2018 год. URL: https://hiconversion.ru/blog/statistika-socialnyh-setej-v-rossii-na-2018-god/
10. Патент РФ № 2011145077 / Бартунов С.О., Коршунов А.В., Турдаков Д.Ю. и др. Способ интеграции профилей пользователей онлайновых социальных сетей. Опубл. 08.11.2011. Бюл. № 8.
11. **Корепанова А.А., Олисеенко В.Д., Абрамов М.В., Тулупьев А.Л**. Применение методов машинного обучения в задаче идентификации аккаунтов пользователя в двух социальных сетях // Компьютерные инструменты в образовании. 2019. № 3. С. 29–43. doi:10.32603/2071-2340-2019-3-29-4
12. **Al-Mukhtar F., Al-Dabagh M.** Real-Time Face Recognition System Using KPCA, LBP and Support Vector Machine. International Journal of Advanced Engineering Research and Science. 2017. 4. 184-189. 10.22161/ijaers.4.2.36.
13. **Булатников Е.В., Гоева А.А.** Сравнение библиотек компьютерного зрения для применения в приложении, использующем технологию распознавания плоских изображений // Вестник МГУП. 2015. №6.

V.D. Oliseenko, M.V. Abramov (St. Petersburg Federal Research Center of the RAS; St. Petersburg State University, St. Petersburg)

Applying Methods of Face Recognition in the Task of Identifying User Accounts in Various Social Networks

In the presented paper questions of protection of employees of the enterprises from social engineering attacks are raised by means of an estimation of expression of the personal features spent on a profile in social networks. To improve this assessment, it is necessary to find profiles of one person in different social networks. To define profiles more accurately, it is suggested to use the result of face recognition as an attribute in the existing method. This work is devoted to the possibility of using facial recognition methods to improve the results of identifying user accounts in various social networks.

А. Г. БАЖЕНОВ, Е. Н. КАРТАШЕВ
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ НА ПОРЯДОК ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»

Цель импортозамещения в области информационных технологий – уход от зарубежного программного обеспечения при автоматизации бизнес-процессов предприятия Дальнейшей задачей является расширение процесса импортозамещения в закрытой корпоративной вычислительной сети, где количество пользователей намного больше и где требуется замена тяжелых систем автоматизированного проектирования и PDM-систем (Product Data Management). Одним из этапов импортозамещения здесь может стать широкое внедрение технологии тонкого клиента, построенного на базе рабочего места под управлением ОС Астра-Линукс, работающего с терминальным сервером Windows.

Введение. Использование (в том числе иностранного) программного обеспечения (ПО) в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» вытекает из стратегии применения информационных технологий, которая в свою очередь строится на основе стратегии развития организации в целом. Значимость информационных технологий формулируются исходя из следующих целей:

- сокращение затрат на проектирование, техническую подготовку и освоение в производстве, эксплуатацию, обслуживание и ремонт сложной наукоемкой продукции;
- увеличение показателей качества и надежности выпускаемой продукции;
- сокращение сроков вывода новых конкурентоспособных изделий на рынок.

Исходя из перечисленных целей, задаются следующие требования к ПО, применяемому во внедряемых информационных технологиях:

- функциональность ПО должна обеспечивать решения задач, в объеме, диктуемом автоматизируемым бизнес-процессом, с учетом его краткосрочного и среднесрочного развития;
- функциональность ПО должна в кратчайшие сроки отрабатываться на предмет выявления и устранения в нем ошибок, с целью обеспечения корректного функционирования автоматизируемого бизнес-процесса и сокращения затрат на сопровождение ПО;
- стоимость владения ПО должна быть минимальна;
- в случае необходимости сопровождение ПО его разработчиком должно быть обеспечено на весь период его эксплуатации в организации.

С другой стороны на организацию распространяется действие директив, обязывающих преимущественно применять ПО отечественного производства.

Вышеизложенные ограничения должны учитываться при определение стратегии применения ПО.

Цель импортозамещения в области информационных технологий (ИТ) – уход от зарубежного ПО при автоматизации бизнес-процессов предприятия, однако на пути к указанной цели есть ряд препятствий, которые необходимо преодолеть. Часть из них была описана в работах [1–4], рассмотрим их теперь более подробно, а также решения по их применению, полученные в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

1. Организация применения ПО. Процесс применения ПО непосредственно связан с жизненным циклом оказания ИТ-услуги и является одним из стандартных процессов ITSM (IT Service Manegment) [5]. Он включает в себя процедуры выбора и внедрения ПО в эксплуатацию, внесение изменений в ПО и вывод ПО из эксплуатации. Остановимся на рассмотрение выбора и применения ПО более подробно. Задачами, решаемыми процедурой выбора и применения ПО в организации является:

- выбор оптимального ПО в части полной стоимости владения и выполняемых функций в объеме, необходимом для оказания ИТ-услуги;
- оценка интеграции ПО в ИТ инфраструктуру организации;

- оценка соответствия выбираемого ПО требованиям нормативных и руководящих документов организации (в т. ч. касающихся импортозамещения).

Схематично верхний уровень указанной процедуры представлен на рисунке.

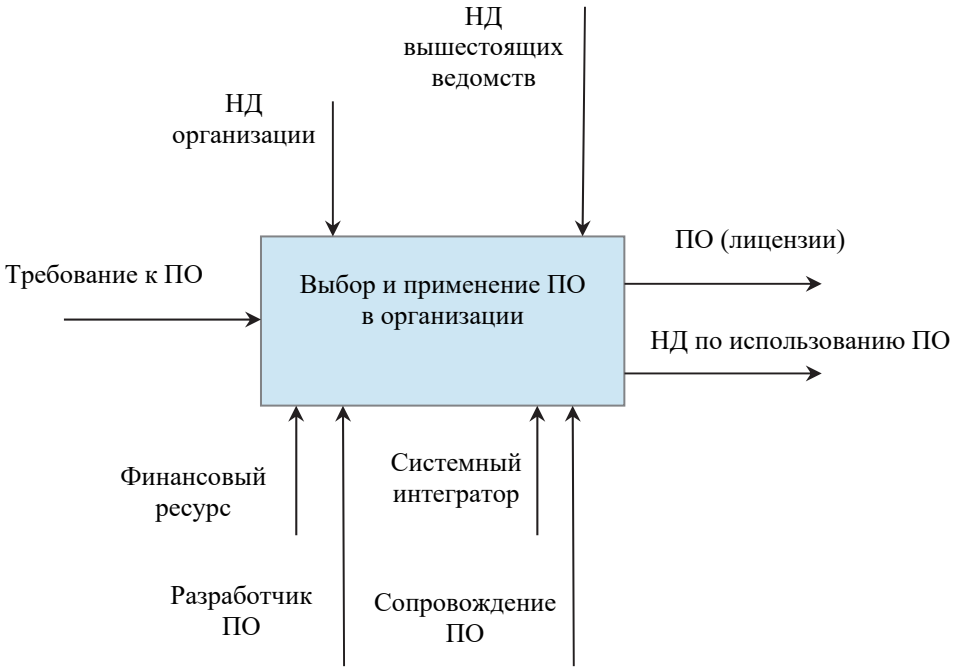


Рисунок. Процедура выбора и применения ПО

Исходными данными для процесса являются требования к ПО, которые формируются в процессе проектирования ИТ-услуги, на выходе – ПО и комплект нормативных документов (НД) организации о порядке его использования. В качестве ресурсов укрупненно следует выделить финансы, разработчика ПО, системного интегратора и группу сопровождения ПО. Ресурсы могут предоставляться как самой организацией, так и приобретаться у контрагентов. В качестве управляющего воздействия выступают НД различного уровня.

Для оценки процесса и выделения в нем ключевых характеристик могут использоваться различные методики, например SWOT-анализ процесса (**S**trengths (сильные стороны), **W**eaknesses (слабые стороны), **O**pportunities (возможности), **T**hreats (угрозы)) и т. п. [6]. Рассматриваемая процедура может быть в общем случае охарактеризована параметрами и оценена показателями, приведенными в табл. 1. Указанный перечень параметров варьируется в зависимости от особенностей организации, например, могут учитываться особенности финансирования закупок ПО или ставиться акцент на разработку ПО собственными силами.

Таблица №1

№	Характеристика процедуры выбора и применения ПО	Желаемое значение показателей
1	Поддержка необходимого и достаточного уровня НД для обеспечения качественного применения ПО	$K_{нд} \le 1$
2	Разработка требований к ПО в необходимом и достаточном объеме, для обеспечения корректной информационной поддержки автоматизируемых бизнес-процессов	$K_{тр} = 1$
3	Использование ПО для автоматизации бизнес-процессов организации, обеспечивающее требуемый функционал а также имеющее минимальную стоимость владения им	$K_{фун} \le 1$
4	Обеспечение прозрачности работы разработчиков ПО для заказчика	$K_{проз} \sim 1$
5	Обеспечение надежности поставок и сопровождения ПО	$K_{проз} \sim 1$

В табл. 2 приведены методики расчета показателей, перечисленных в табл. 1.

Таблица №2

№	Порядок расчета коэффициента эффективности	Примечание
1	$K_{нд} = u \cdot n$, где n – количество обращений в службу поддержки по вопросу использования ПО в указанный интервал времени (например, неделя); u – показатель использования ПО	Коэффициент показывает уровень обеспеченности ПО нормативной базой и рассчитывается для каждой единицы используемого ПО. Приемлемое значение его должно быть меньше 1.
2	$u = \frac{k}{\sum_{i=1}^{L} N_i}$, где k – количество установок ПО, N_i – количество АРМ, отнесенной к направлению деятельности i,при условии, что ПО применимо для указанного направления, в противном случае 0; L – количество направлений деятельности подразделений. Примечание – примером направления деятельности может являться разработка механических конструкций, бухгалтерский учет и т.п.)	Показатель использования ПО базируется на отношение количества установок к количеству АРМ в подразделениях, классифицированных по направлению деятельности.
3	$K_{тр} = \frac{0,7 \cdot k_1 + 0,3 \cdot k_2}{1+n}$, где $k_1 = \begin{cases} 1: Есть\ утвержденные\ требования \\ 0: Нет\ утвержденных\ требований \end{cases}$; $k_1 = \begin{cases} 1: Есть\ соглашение\ об\ уровне\ сервиса \\ 0: Нет\ соглашения\ об\ уровне\ сервиса \end{cases}$; n – количество запросов на закупку однотипного ПО, в указанный интервал времени (неделя), по которым принято положительное решение по закупке	Коэффициент показывает наличие требований к ПО и степень их проработанности.
4	$K_{фун} = \frac{Z_{р.период}}{Z_{пр.период} \cdot \left(1 + k_{инф} / \ 100\right)}$, где $Z_{р.период}$ – затраты на владение классом ПО за рассматриваемый период; $Z_{пр.период}$ – затраты на владение классом ПО за предыдущий период; $k_{инф}$ – коэффициент инфляции. Затраты на владение классом ПО в течение периода t: $Z_t = \sum_{i=1}^{N} \left(Zi_i + Ze_i\right)$, где N – количество используемого ПО в классе; i – индекс рассматриваемого ПО в классе; Zi_i – внутренние расходы на владение i-м ПО в период t (зарплата внутренним ИТ специалистам, стоимость требуемых вычислительных мощностей); Ze_i – внешние расходы на владение i-м ПО в период t (техническая поддержка ПО, консалтинг, списание стоимости лицензий в рассматриваемом периоде)	Коэффициент показывает динамику работ по оптимизации стоимости и функционирование ПО. Оптимальное его значение <1, в период стагнации ~ 1.
5	$K_{проз} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{t_{факт}}{t_{план}} + \frac{Z_{факт}}{Z_{план}} \right)$, где $t_{план}$ – количество дней, запланированное на разработку (доработку) ПО, с даты подписания договора; $t_{факт}$ – количество дней, фактически затраченное на разработку (доработку) ПО, с даты подписания договора; $Z_{план}$ – запланированные затраты на разработку (доработку) ПО; $Z_{факт}$ – фактические затраты на разработку (доработку) ПО.	Коэффициент показывает степень профессиональности разработчика ПО. Оптимальное значение показателя ~ 1. Этот показатель также применим для оценки надежности поставки и сопровождения ПО.

2. Место импортозамещения в процессе применения ПО. В связи с существенным изменением международных отношений, начиная с 2014 года ряд стран запретили поставлять в некоторые российские организации высокотехнологичную продукцию, в том числе и ПО. В

связи с санкциями эти организации потеряли возможность закупки и получения технической поддержки ПО, производимого в перечисленных странах, а в отдельных случаях и лишились права использования уже приобретенного ПО. С целью ускорения развития ПО, разрабатываемого отечественными производителями, правительство российской федерации предприняло ряд мер, в том числе по увеличению спроса на российское ПО путем введения ограничений на закупку иностранного ПО для организаций, находящихся в собственности у государства. В связи с вышеизложенным многие организации оборонно-промышленного комплекса (ОПК) столкнулись с риском невозможности создания новых ИТ-услуг на базе отечественного ПО, которые бы полностью удовлетворяли требованиям, соответствующим ранее реализованным ИТ-услугам на базе иностранного ПО.

Модели поведения по работе с указанным риском также зависят: от текущей ситуации с наличием прав на использование иностранного ПО; возможности получения технической поддержки на иностранное ПО; интенсивности использования иностранного ПО в организации; критичности ИТ-услуг к необходимости получения обновления используемого иностранного ПО. В табл. 3 перечислены различные комбинации значений указанных условий.

Таблица 3

№	Право на использование ПО	Возможность обновления ПО	Критичность к обновлению ПО	Интенсивность использования ПО
1	Нет	–	–	–
2	Есть	Нет	Высокая	Высокая
3	Есть	Нет	Высокая	Средняя
4	Есть	Нет	Высокая	Низкая
5	Есть	Нет	Средняя	Высокая
6	Есть	Нет	Средняя	Средняя
7	Есть	Нет	Средняя	Низкая
8	Есть	Нет	Низкая	Высокая
9	Есть	Нет	Низкая	Средняя
10	Есть	Нет	Низкая	Низкая
11	Есть	Есть	Высокая	Высокая
12	Есть	Есть	Высокая	Средняя
13	Есть	Есть	Высокая	Низкая
14	Есть	Есть	Средняя	Высокая
15	Есть	Есть	Средняя	Средняя
16	Есть	Есть	Средняя	Низкая
17	Есть	Есть	Низкая	Высокая
18	Есть	Есть	Низкая	Средняя
19	Есть	Есть	Низкая	Низкая

Модели поведения для управления риском, связанным с не возможностью создания новых ИТ-услуг на базе отечественного ПО, которые бы полностью удовлетворяли требованиям, соответствующим ранее реализованным ИТ-услугам на базе иностранного ПО:

- реализация ИТ-услуги с помощью ПО, разработанного по требованиям заказчика (табл. 3 условия 1–19);
- оставить реализацию ИТ-услуги в том виде, как она есть, до момента появления подходящего решения на базе отечественного ПО (табл. 3, условия – 8–10; 14–19).
- отказ от ИТ-услуги (табл. 3 условия – 1; 4; 7).

Можно выделить несколько основных проблем, с которыми сталкиваются организации при проведение работ по импортозамещению, а именно: дальнейшее использования данных, наработанных с помощью иностранного ПО; совместная работа ПО как на одном уровне (например, совместная работа различных приложений на прикладном уровне), так и на разных

(поддержка системным ПО работы прикладного ПО); отсутствие необходимых объемов собственных средств для финансирования работ; сопротивление персонала изменениям.

Проблема использования данных всегда возникает при смене технологии их формирования и обработки, даже когда переходишь на новую версию ПО. Решение носит как правило индивидуальный характер и базируется на разработках механизмов конвертации данных в новый формат, либо нейтральный формат. Поддержка отечественным ПО распространенных форматов представления данных является большим подспорьем для решения указанной проблемы.

Вопрос интеграции ПО одна из наиболее серьезных проблем, возникающих при проведение импортозамещения на предприятиях ОПК. Многие отечественные программные продукты строятся на основе иностранных программных библиотек, и изменение этой ситуации потребует длительной работы отечественных производителей ПО и значительных материальных затрат.

Бизнес не охотно идет на то, чтобы вкладывать деньги в разработку новых ИТ-услуг на базе отечественного ПО, учитывая тот факт, что эти ИТ-услуги прекрасно работают на иностранном ПО, а дивидендов от таких инвестиций можно и не дождаться. Облегчением данной ситуации может стать возможность компенсации части расходов в рамках государственной поддержки процесса импортозамещения на предприятиях ОПК.

Учитывая отставание отечественного ПО от иностранного по многим направлениям, замена иностранного ПО на менее производительное ПО отечественного производства ведет к снижению удовлетворенности сотрудников, использующих его в своей работе и, как следствие, удовлетворенности заказчика качеству предоставляемой ИТ-услуги в целом. Кроме того можно наблюдать сопротивление и со стороны ИТ-специалистов, которые многие годы посвятили себя развитию «лучшей» технологии, а теперь по каким-то причинам, не носящим технический характер, необходимо внедрять ПО «второго сорта». Для решения перечисленных проблем необходимо подготовить отечественное ПО к внедрению и при необходимости организовать его доработку, чтобы переход на новое ПО принес дополнительные преимущества в работе, по сравнению с ПО используемым ранее.

3. Примеры проведения импортозамещения в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Рассмотрим как решается задача импортозамещения в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», где краеугольным камнем является платформа, на которой и должна быть построена идеология перехода на отечественное ПО. Здесь успешным был выбор операционной системы (ОС) АО «НПО РусБИТех» Астра-Линукс. Для начала была выбрана локальная вычислительная сеть (ЛВС), количество рабочих мест в которой ограничивалась сотней компьютеров. Выбор пал на ЛВС, работающую в среде интернет, в которой решаются задачи отправки и приема электронной почты, а также работа со всевозможными сайтами для выполнения как информационно-поисковых задач, так и для взаимодействия с контрагентами. Контроль за работой выбранной ЛВС осуществляется SIEM-системой (Security Information and Event Management) на базе ГОССОПКА [7], обеспечивающая мониторинг кибератак. Как показала практика, выбрав ключевых исполнителей для решения указанной задачи, в кратчайший срок (две недели) были заменены операционные системы Windows на Астра-Линукс с поставляемым набором офисных программ. Ранее в 2018 году, выполняя работы по замене ряда программных продуктов на свободно распространяемое ПО, с целью экономии денежных средств, нами были произведены заменены программы корпорации Microsoft на продукты OpenOffice, основанные на коде StarOffice, который был приобретён, а затем выпущен с открытым исходным кодом фирмой Sun Microsystems.

Как потом оказалось, такой переход был успешно пройден и теперь, работая в среде LibreOffice, пользователи спокойно перешли к работе в этих продуктах, тем более что офисные программы входят в состав ОС Астра-Линукс. Почтовые программы и браузер также не вызвали отторжения у пользователей.

Одним из хорошо развитых направлений отечественного ПО, является разработка средств защиты информации от вредоносных программ, что позволило достаточно легко перейти с продуктов Корпорация Symantec на антивирусные программы компании «Доктор Веб» (Dr.Web Security Space Комплексная защита для Windows, macOS, Linux).

Еще одним примером перехода на отечественное программное обеспечение, которое можно назвать – использование продуктов компании «Нанософт» nanoCAD Plus. Созданная в 2008 году, эта фирма ориентируется на инновационные методы разработки и распространение программного обеспечения для проектирования [8]. Чем же еще нас привлек этот продукт? Использования CAD (Computer-Aided Design)-продуктов фирмы Autodesk AutoCAD разных поколений привело к коллизиям использования шрифтов и слоев, что приводило к потерям информации при формировании копий документов на бумажном носителе. Оператор вынужден был следить за выводом на печать, т. к. механизм WYSIWYG (What You See Is What You Get) – принцип соответствия вывода на экран и на печать не работал. Как только мы перешли на работу с nanoCAD Plus, то эти недостатки ушли при использовании старых файлов формата dwg.

Заключение. Дальнейшей задачей является расширение процесса импортозамещения в закрытой корпоративной вычислительной сети, где уже количество пользователей намного больше и где требуется замена тяжелых систем автоматизированного проектирования и PDM-систем (Product Data Management). Одним из этапов импортозамещения здесь может стать широкое внедрение технологии тонкого клиента, построенного на базе рабочего места под управлением ОС Астра-Линукс, работающего с терминальным сервером Windows. В АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» имеется такой опыт при организации работы с КИС «Галактика» (система класса ERP (Enterprise Resource Planning)).

Практика показывает, что при решение задач импортозамещения ПО необходимо подходить к ним взвешенно, с обеспечением непрерывности предоставления ИТ-услуг, созданных ранее с использованием иностранного ПО. Целесообразно рассмотреть в качестве промежуточного варианта, использование свободно распространяемого ПО, поскольку многие отечественные разработки на нем базируются.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Карташев Е.Н., Красовский В.С.** Информационная безопасность современного предприятия ОПК // Вопросы защиты информации. 2016. №4. С. 41–46.
2. **Карташев Е.Н., Красовский В.С.** О едином информационном пространстве в судостроительной отрасли // Навигация и гидрография. 2012. №34. С.42–46.
3. **Баженов А.Г., Карташев Е.Н., Красовский В.С.** Возможности проведения работ по импортозамещению программного обеспечения // XVII Всероссийская научно-практическая конференция. МОРИНТЕХ-ПРАКТИК 2017. «Информационные технологии в судостроении-2017».
4. **Баженов А.Г., Карташев Е.Н., Красовский В.С.** Пути импортозамещения общесистемного и офисного программного обеспечения» // XIX Международная научно-практическая конференция МОРИНТЕХ-ПРАКТИК 2018. «Информационные технологии в судостроении-2018»
5. Mostafa Mohamed AlShamy. ITSM Implementation methodology based on ITIL V3; LAP Lambert Academic Publishing, 2012; ISBN 9783659202339.
6. **Арутюнова Д.В.** Стратегический менеджмент: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010.
7. **Халин В.Г., Чернова Г.В.** Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски // Управленческое консультирование. 2018. №10. С. 46–63. https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-10-46-63
8. https://www.nanocad.ru/products/nanoCAD – Сообщество инженеров-проектировщиков.

A.G. Bazhenov, E.N. Kartashev (JSC "Concern "Central Research Institute "Electropribor", St. Petersburg)

Influence of the Process of Import Substitution on the Order of Application of the Software on Example Sc "Concern "Central Research Institute "Electropribor"

The goal of import substitution in the field of information technology is to move away from foreign software when automating the business processes of an enterprise. A further task is to expand the process of import substitution in a closed corporate computer network, where the number of users is much larger and where the replacement of heavy CAD systems and PDM systems (Product Data Management) is required. One of the stages of import substitution here may be the widespread introduction of thin client technology, built on the basis of a workstation running Astra-Linux OS, working with a Windows terminal server.

А. В. ТИШКОВ, Л. В. СТРАХ
ПСПбГМУ им.И.П.Павлова, Санкт-Петербург

Е. В. ДОЙНИКОВА
СПбГУТ, СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ Я-ФУНКЦИЙ В СТРУКТУРЕ ЛИЧНОСТИ СТУДЕНТОВ МЛАДШИХ КУРСОВ МЕДИЦИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Изучение структуры личности студента способствует анализу его возможностей в освоении материала, социализации в учебной группе и прогнозу его поведения. Картину Я-функций выявляет тест Аммона. Тест оценивает шесть Я-функций, причем в каждой из них даются по 3 оценки по шкале конструктивности, деструктивности и дефицитарности. Проведено тестирование студентов 1 и 2 курса медицинского вуза и выявлены особенности личности изучаемой когорты. Корреляционный анализ показал структуру зависимостей между Я-функциями и их оценками: статистически значимую связь удалось обнаружить в 26 случаях из 52.

Введение. Студенческое сообщество энергично и конкурентно. В первые годы учебы, когда отношения внутри коллектива учебной группы, потока, курса только устанавливаются, взаимодействия между студентами особенно активны. При этом значительная, если не преобладающая часть общения происходит в соцсетях.

Нередко поведение в соцсетях является деструктивным. Мотивы могут быть интраперсональными, когда поступившему тяжело справляться с новой формой и количеством учебной нагрузки, и он выплескивает свое состояние в сеть. Деструктивным может быть интерперсональное взаимодействие с коллегами в сети, когда происходит борьба за влияние в формирующихся мини-группах. Сопротивление новым правилам, выражаемое явно в беседах с однокурсниками, а также противопоставление студентов и преподавателей, студентов друг с другом по национальному/религиозному признаку порождает метаперсональное деструктивное поведение [1].

Склонность к деструктивному поведению можно выявить с помощью анализа структуры личности. Психологический тест, изобретенный в конце XX века основателем концепции динамической психиатрии Гюнтером Аммоном [2] и адаптированный в НИПНИ им. Бехтерева Ю. [3], позволяет оценить деструктивную составляющую Я-функций, обуславливающую и деструктивное поведение в обществе, в частности, общение в соцсетях. Тест выявляет шесть Я-функций: агрессия, тревога, внешнее и внутреннее Я-отграничение, нарциссизм и сексуальность. Для каждой Я-функции даются три оценки: конструктивность, деструктивность и дефицитарность (невыраженность).

Цель и задача исследования. Целью исследования является выявление деструктивного потенциала поведения студента в соцсетях. Задачей является проведение и анализ результатов теста Аммона на выборке студентов-медиков младших курсов и выявление особенностей структуры Я-функций, прежде всего их деструктивной составляющей.

Результаты. В рамках решения данной задачи исследовались взаимосвязи между конструктивными, деструктивными и дефицитарными оценками по всем шести Я-функциям теста Аммона между собой. Были протестированы 603 студента младших курсов с использованием адаптированного к нашей стране варианта теста и проведен корреляционный анализ при помощи рангового коэффициента корреляции Спирмена rs (таблица).

Таблица

Коэффициенты корреляции между оценками Я-функций

	Ак	**Адр**	**Адф**	**Тк**	**Тдр**	**Тдф**	**В1к**	**В1др**	**В1дф**	**В2к**	**В2др**	**В2дф**	**Нк**	**Ндр**	**Ндф**	**Ск**	**Сдр**	**Сдф**
Ак	1,00	-0,12	-0,31	**0,56**	-0,39	-0,04	0,49	-0,26	-0,19	**0,54**	-0,28	-0,16	**0,65**	-0,24	-0,34	0,27	0,11	-0,10
Адр	-0,12	1,00	0,27	-0,08	0,39	**0,56**	-0,23	0,27	0,41	-0,26	0,37	0,45	-0,12	0,47	0,35	0,03	0,35	0,19
Адф	-0,31	0,27	1,00	-0,28	**0,65**	0,41	-0,31	**0,56**	**0,61**	-0,32	0,38	**0,54**	-0,29	**0,55**	**0,56**	-0,13	0,07	0,22
Тк	**0,56**	-0,08	-0,28	1,00	-0,34	-0,07	0,42	-0,22	-0,21	0,43	-0,19	-0,14	0,50	-0,22	-0,29	0,26	0,12	-0,10

	Ак	Адр	Адф	Тк	Тдр	Тдф	В1к	В1др	В1дф	В2к	В2др	В2дф	Нк	Ндр	Ндф	Ск	Сдр	Сдф
Тдр	-0,39	0,39	**0,65**	-0,34	1,00	0,38	-0,38	**0,51**	**0,66**	-0,35	0,43	**0,54**	-0,31	**0,55**	**0,53**	-0,19	0,11	0,25
Тдф	-0,04	**0,56**	0,41	-0,07	0,38	1,00	-0,25	0,39	0,38	-0,25	0,36	**0,52**	-0,11	**0,56**	0,45	0,10	0,41	0,21
В1к	0,49	-0,23	-0,31	0,42	-0,38	-0,25	1,00	-0,25	-0,35	**0,53**	-0,24	-0,31	0,45	-0,31	-0,31	0,13	-0,04	-0,07
В1др	-0,26	0,27	**0,56**	-0,22	**0,51**	0,39	-0,25	1,00	0,38	-0,23	0,50	0,40	-0,35	**0,61**	**0,58**	-0,15	0,03	0,30
В1дф	-0,19	0,41	**0,61**	-0,21	**0,66**	0,38	-0,35	0,38	1,00	-0,21	0,36	**0,55**	-0,10	**0,54**	0,47	-0,11	0,16	0,21
В2к	**0,54**	-0,26	-0,32	0,43	-0,35	-0,25	**0,53**	-0,23	-0,21	1,00	-0,30	-0,27	0,47	-0,25	-0,35	0,27	0,03	-0,20
В2др	-0,28	0,37	0,38	-0,19	0,43	0,36	-0,24	0,50	0,36	-0,30	1,00	0,32	-0,35	**0,51**	0,47	-0,08	0,15	0,24
В2дф	-0,16	0,45	**0,54**	-0,14	**0,54**	**0,52**	-0,31	0,40	**0,55**	-0,27	0,32	1,00	-0,12	**0,52**	0,45	-0,05	0,22	0,19
Нк	**0,65**	-0,12	-0,29	0,50	-0,31	-0,11	0,45	-0,35	-0,10	0,47	-0,35	-0,12	1,00	-0,33	-0,38	0,21	0,07	-0,06
Ндр	-0,24	0,47	**0,55**	-0,22	**0,55**	**0,56**	-0,31	**0,61**	**0,54**	-0,25	**0,51**	**0,52**	-0,33	1,00	**0,66**	-0,06	0,23	0,26
Ндф	-0,34	0,35	**0,56**	-0,29	**0,53**	0,45	-0,31	**0,58**	0,47	-0,35	0,47	0,45	-0,38	**0,66**	1,00	-0,09	0,13	0,24
Ск	0,27	0,03	-0,13	0,26	-0,19	0,10	0,13	-0,15	-0,11	0,27	-0,08	-0,05	0,21	-0,06	-0,09	1,00	**0,52**	-0,47
Сдр	0,11	0,35	0,07	0,12	0,11	0,41	-0,04	0,03	0,16	0,03	0,15	0,22	0,07	0,23	0,13	**0,52**	1,00	-0,13
Сдф	-0,10	0,19	0,22	-0,10	0,25	0,21	-0,07	0,30	0,21	-0,20	0,24	0,19	-0,06	0,26	0,24	-0,47	-0,13	1,00

Максимальный достигнутый коэффициент корреляции 0,665. Он невелик, но статистически значим. Далее будем считать корреляцию установленной, если коэффициент превышает по абсолютной величине 0,5 и статистически значим.

Первая интересная находка связана с деструктивным нарциссизмом, связанным с искажением или нарушением реалистичного ощущения, восприятия и оценки себя. Деструктивный нарциссизм имеет больше всего связей с другими признаками – деструктивными и дефицитарными их компонентами. Он положительно коррелирует с тревогой, внутренним и внешним отграничениями на деструктивном и дефицитарном уровне, а также с агрессией и нарциссизмом на дефицитарном уровне. Таким образом, нет положительной корреляции лишь с деструктивной агрессией (rs=0,4) и со всеми тремя шкалами сексуальности. Любопытно также, что существенной отрицательной корреляции с конструктивными шкалами также не обнаружено, все коэффициенты отрицательны, но меньше по абсолютной величине 0,4. Следующим признаком с большим числом корреляций является деструктивная тревога, имеющая 2 положительные корреляции с деструктивными и 4 положительные корреляции с дефицитарными признаками, с коэффициентами, большими чем 0,5.

Из конструктивных признаков Я-функций наибольшую корреляцию с другими признаками имеет конструктивная агрессия. Она положительно коррелирует с конструктивной тревогой, конструктивным внутренним отграничением, конструктивным нарциссизмом. Связь с конструктивным внешним отграничением тоже довольно высокая (rs=0,49). Другие конструктивные признаки Я-функций имеют не более двух корреляций, по абсолютной величине превышающих 0,5.

Отметим также несвязанность сексуальности с другими Я-функциями. Не найдено ни одной корреляции, превышающей по абсолютному значению 0,5 ни с конструктивными, ни с деструктивными, ни с дефицитарными признаками других Я-функций. Кроме того, сексуальность – единственная Я-функция, у которой конструктивный признак положительно коррелирует с деструктивным (rs=0,57).

Заключение. Проведенный корреляционный анализ показал зависимость признаков в 26 случаях из 52, то есть в 50% случаях, что говорит о сложной структуре взаимосвязей между Я-функциями. Для пяти Я-функций (исключая сексуальность), конструктивные признаки всегда отрицательно коррелировали с деструктивными и дефицитарными, но все коэффициенты корреляции были меньше 0,4. В то же время для этих пяти Я-функций между деструктивными и дефицитарными признаками корреляция всегда была положительной.

Из деструктивных Я-функций важнейшей является нарциссизм – он связан с деструктивными составляющими всех остальных Я-функций. Для выявления деструктивного поведения в соцсетях представляется перспективным составление «словаря нарцисса»

средствами контент-анализа (ре-)постов, реплик, фрагментов информации о себе пользователей с высоким уровнем по шкале деструктивного нарциссизма.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ мк 18-29-22034

ЛИТЕРАТУРА

1. **Злоказов К.В.** Деструктивное поведение в различных контекстах его проявления // Вестник Удмуртского университета. Серия Философия. Психология. Педагогика. 2016. Т. 26, вып. 4. С. 67-73.
2. **Ammon G.** Ich-Struktur-Test nach Ammon (ISTA) / G. Ammon, G. Finke, G. Wolfrum. Frankfurt: Swets, Zeitlinger, 1998. 230 p.
3. Очерки динамической психиатрии. Транскультурное исследование / под ред. М.М. Кабанова, Н.Г. Незнанова. СПб.: Институт им. В.М. Бехтерева, 2003. 438 с.

A.V. Tishkov, L.V. Strakh (Pavlov University, Saint-Petersburg). E.V. Doynikova (SPbSUT, SPb FRC RAS, Saint-Petersburg)

Characteristic of Relationship of I-functions in the Personality Structure of Junior-course Students of Medical University

Understanding structure of the student's personality contributes to analysis of his/her ability to study and socialization and forecast student’s behavior. A detailed description of destructive component of I-function can be obtained by Ammon test (Ich-Struktur-Test nach Ammon, ISTA). ISTA includes six I-functions: aggression, anxiety, external self-delimitation, inner self-delimitation, narcissism and sexuality, as well as three assessments on a scale of constructiveness, destructiveness and deficiency for each function. Personality characteristics of 1st and 2nd year medical students were studied with ISTA. Correlation analysis demonstrated a complex structure of dependencies between self-functions and their assessments: a statistically significant dependence was found in 26 cases out of 52. The most valuable destructive I-function is narcissism.

Б. Я. СОВЕТОВ, Т. М. ТАТАРНИКОВА
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СИСТЕМЫ УМНОГО ДОМА

Обсуждается проблема обеспечения информационной безопасности «умного дома», перечисляются основные уязвимости и последствия, к которым они могут привести. Предложены механизмы защиты информации в системе «умного дома» исходя из характеристик потребляемых ресурсов: энергии, времени, вычислительной мощности. Представлено описание собранного макета системы «умного дома», на котором выполнялось измерение характеристик потребляемых ресурсов с целью обоснованного выбора метода защиты информации, передаваемой устройствами по открытым каналам.

Введение. Подключение «умных» устройств к всемирной паутине требует обеспечения безопасности данных, передаваемых по каналам «устройство-устройство», «устройство-сервер», «устройство-пользователь». Злоумышленники могут не только похитить конфиденциальную информацию, но и перехватить контроль над устройством.

Основными уязвимостями безопасности системы «умного дома» являются [1]:

- Использование производителями систем умного дома собственного программного обеспечения, что усложняет взаимодействие между устройствами разных производителей. Кроме того, часто программное обеспечение имеет закрытый код, что в свою очередь затрудняет поиск уязвимостей.
- Незащищенность трафика, что может привести к получению злоумышленниками данных, передаваемых устройствами.
- Отсутствие механизма аутентификации, что позволяет злоумышленникам перехватить контроль над устройством.

Перечисленные угрозы могут привести к следующим последствиям:

- Нарушение работы устройства.
- Нарушение конфиденциальности, целостности и доступности информации.
- Перехват управления устройством злоумышленником.

Большая часть этих последствий объясняется малой производительностью устройств, что не позволяет реализовать защиту информации в полной мере [2,3].

Существует несколько подходов к обеспечению защиты устройств умного дома. Все они различаются алгоритмами, моделями угроз, но что более значимо для систем подобного рода – значениями потребляемых ресурсов: энергии, времени, вычислительной мощности.

В данной работе предложены методы защиты информации, передаваемой устройствами по открытым каналам в системе умного дома, выбор которых обоснован экспериментальным путем. Во-первых, собран макет системы умного дома, во-вторых, выполнены замеры потребляемых ресурсов.

Предлагаемый доклад посвящен особенностям реализации макета и выполнению на нем экспериментов для обоснования методов защиты информации.

Особенности реализации макета системы умного дома. В рамках макета системы умный дом реализованы следующие программные и программно-аппаратные модули (рисунок):

- Контроллер и подключенные к нему датчики температуры и давления.
- Сервер.
- База данных.
- Интерфейс пользователя.

В качестве контроллера для взаимодействия с датчиками используется Arduino uno [4]. Работа контроллера организована в бесконечном цикле – постоянно опрашиваются датчики и проверяются подключения пользователей. Для управления отключением/включением внешними устройствами используется реле.

Сервер реализован на языке php по шаблону MVC модель-представление-контроллер, что позволяет логически разделить взаимодействие с базой данных, интерфейс пользователя и логику приложения [5, 6].

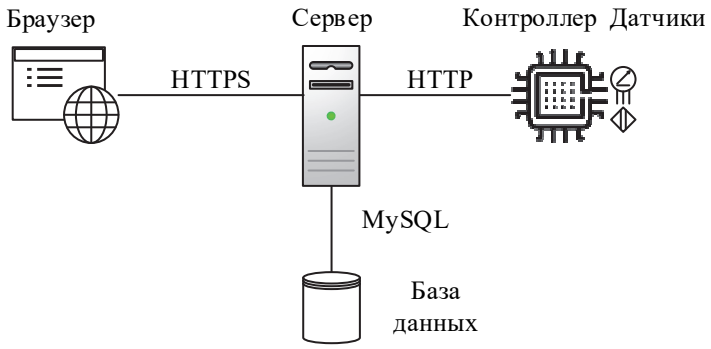


Рисунок. Схема взаимодействия модулей в макете системы «умный дом»

Для решения задачи хранения данных и контроля доступа используется база данных. База включает следующие таблицы: данные пользователя, уровни доступа, действия, которые поддерживаются приложением, показания и история их изменений.

Интерфейс пользователя представляет собой веб-приложение, которое содержит страницу регистрации, авторизации и главную страницу, на которой происходит отображение данных с контроллера. Приложение встречает пользователя окном авторизации, в котором пользователь может ввести свои данные для входа в систему или зарегистрироваться для начала работы. После входа пользователь попадает на главную страницу приложения. Здесь ему доступны данные с датчиков, которые обновляются раз в несколько секунд. Запросы для обновления данных происходят с помощью запросов на сервер. Также на этой странице возможно задать температуру, которая будет поддерживаться включением прибора через реле на контроллере. Еще одна возможность – просматривать историю изменения показаний температуры и влажности.

Рекомендуемые механизмы защиты системы «умный дом». В системе передаются два типа пакетов: управляющие пакеты (команды на изменение параметров) и информационные пакеты (информация с датчиков).

Поскольку контроллер является маломощным устройством, то не способен поддерживать https соединение. Поэтому для передачи данных от сервера к контроллеру используем протокол http с дополнительным решением задач шифрования и проверки целостности данных, передаваемых по сети интернет. Для шифрования рекомендуются симметричные алгоритмы. Для обеспечения целостности передаваемых данных решение принято в пользу имитозащиты, что в сравнении с электронной цифровой подписью требует меньшей вычислительной мощности и объема памяти.

Аутентификация пользователя (доступ к системе умного дома) реализуется на сервере с использованием https протокола, что позволит защитить пользовательские данные при передаче по открытым каналам. Также сервер будет запрашивать данные с контроллера и передавать их пользователю, что позволяет снять часть нагрузки с контроллера. Такой подход широко распространен при использовании маломощных устройств.

Для разделения доступа каждое действие, например получение главной страницы или запрос на обновление данных с датчиков, имеет свой уровень доступа. Так, все действия выше уровня 1 могут выполняться только зарегистрированными пользователями. Если же незарегистрированный пользователь, например, запросит данные с датчиков, то он будет переведен на страницу ошибки доступа.

Таким образом, обеспечение информационной безопасности системы умного дома включает следующие механизмы:

- Взаимодействие между клиентом и сервером осуществляется посредством протокола HTTPS, который за счет использования криптографических протоколов SSL/TLS, обеспечивает 3 уровня защиты:
  1. шифрование данных, что позволяет избежать их перехвата;
  2. фиксацию любых изменений данных, что что обеспечивает их целостность и сохранность;
  3. аутентификация, что защищает от перенаправления пользователя.

- Взаимодействие между контроллером и сервером осуществляется посредством протокола HTTP, но данные шифруются и защищаются от изменения имитовставкой.
- Шифрование/дешифрование данных, передаваемых между контроллером и сервером реализуется симметричной криптографической схемой.

Для управляющих пакетов важно использовать наиболее стойкие шифры, а также имитозащиту. Для информационных пакетов требования к защищенности ниже, но требования к скорости обработки и размеры выше.

Описание эксперимента на макете «умного дома» по замеру потребляемых ресурсов. Ресурсы, потребляемые системой, оцениваются следующими характеристиками:

1. Время отклика системы, в мс – показывает ожидаемое время ответа от системы на запрос пользователя.
2. Потребление энергии при единичном запросе, в Вт – показывает значение мощности, которую затрачивает система на обработку одного запроса.
3. Нагрузка на систему, в байтах – показывает, сколько данных передается по сети при единичном запросе.

Отклик системы оценивался посредством измерения времени от момента отправки пользовательского запроса до получения ответа в браузере клиентского компьютера [7]. Для этого использовалась стандартная панель разработчика, позволяющая просматривать время запроса.

Для оценки энергопотребления использовался мультиметр – измерялся ток, потребляемый Arduino в период выполнения запроса с вычислением потребляемой мощности.

Загрузка сети оценивалась через размеры пакетов, отправляемых с сервера на контроллер и обратно. Эта характеристика строго зависит от выбранных алгоритмов шифрования и имитовставки.

Таблица

Результаты измерений, выполненных на макете

Алгоритм шифрования	Время отклика, мс	Потребление энергии, Вт	Нагрузка на систему, байт
AES 128	126	0,059	72
AES 192	129	0,062	88
AES 256	134	0,064	104
DES	163	0,104	64
TDES	305	0,264	64
XTEA	89	0,040	64

Результаты экспериментов, проведенных на макете системы умного дома, показали, что наиболее подходящим алгоритмом для маломощных устройств является XTEA. Он обеспечивают наиболее быстрое шифрование с использованием минимальных затрат энергии. Но XTEA имеет не самую высокую криптостойкость, что ограничивает его применение для важных данных. Применение алгоритмов семейства AES также оправдано, так как они показали результаты, не сильно уступающие XTEA, но AES характеризуется высокой криптостойкостью. Таким образом, для информационных пакетов можно рекомендовать XTEA, для управляющих – AES.

Заключение. Предложенные в работе механизмы обеспечения информационной безопасности умного дома учитывают ресурсы, потребляемые системой, такие как время отклика, потребление энергии и нагрузка на систему. Выбор механизмов защиты основывается на результатах экспериментов, выполненных на макете системы умного дома.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад. М.: ООО «Лайм», 2019. 272 с.
2. **Sovetov B.Y., Tatarnikova T.M., Cehanovsky V.V.** Detection System for Threats of the Presence of Hazardous Substance in the Environment. *2019 XXII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)),* St. Petersburg, Russia, 2019. P. 121-124. doi: 10.1109/SCM.2019.8903771.
3. **Doo-Soon Park**. Fault Tolerance and Energy Consumption Scheme of a Wireless Sensor Network. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2013. Vol. 3. 7 p. doi: 10.1155/2013/396850.
4. **Chin R.** Arduino and Raspberry Pi Sensor Projects for the Evil Genius. McGraw-Hill Education TAB, 2017. 237 p.
5. **Bogatyrev V.A., Vinokurova M.S.** Control and Safety of Operation of Duplicated Computer Systems. *Communications in Computer and Information Science, IET – 2017*. 2017. Vol. 700. P. 331-342.

6. **Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V.** Model and Interaction Efficiency of Computer Nodes Based on Transfer Reservation at Multipath Routing. *2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)*. 2019. P. 8840647. doi: 10.1109/WECONF.2019.8840647
7. **Татарникова Т.М., Елизаров М.А.** Модель оценки временных характеристик при взаимодействии в сети интернета вещей. *Информационно-управляющие системы*. 2017. № 2 (87). С. 44-50.

B.Ya. Sovetov, T.M. Tatarnikova (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg)

Smart Home Security Management

The problem of ensuring the information security of the “smart home” is discussed, the main vulnerabilities and the consequences to which they can lead are listed. The mechanisms of information protection in the “smart home” system are proposed based on the characteristics of consumed resources: energy, time, computing power. The description of the assembled model of the “smart home” system is presented, on which the characteristics of the consumed resources were measured in order to make a reasonable choice of the method of protecting information transmitted by devices over open channels.

А. А. БРАНИЦКИЙ, Е. В. ДОЙНИКОВА, И. В. КОТЕНКО
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербург

МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ПО ПСИХОЛОГИЧЕСКИМ ШКАЛАМ ТЕСТА АММОНА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Разработана методика классификации пользователей социальной сети по психологическим шкалам теста Аммона. В качестве классификаторов были использованы искусственные нейронные сети нескольких видов (машина опорных векторов, линейная регрессия, многослойная нейронная сеть и сверточная нейронная сеть). Область применения методики – выявление отклонений в психологическом состоянии пользователей социальных сетей и мониторинг этого изменения. Проведен эксперимент, в результате которого было получено, что наилучшими показателями точности обладает многослойная нейронная сеть с функцией активации типа ReLU.

Введение. Социальные сети представляют собой Интернет-ресурсы, предназначенные для общения, поиска друзей и обмена цифровой информацией. Их популярность в кругу молодого поколения является высокой, и распространение вредоносной информации в социальных сетях может оказывать деструктивное влияние на поведение этой группы пользователей. В частности, пропаганда насильственных действий и вредных привычек может отрицательно сказываться на психологическом состоянии и мировоззрении Интернет-пользователей. Для обнаружения такого влияния в современной литературе предложено множество подходов.

В [1] рассматриваются сверточные нейронные сети, предназначенные для обнаружения отклонений в психологическом состоянии пользователей сети Интернет. С этой целью обучение нейронных сетей выполнялось с использованием данных, которые были собраны из сервисов социальных микроблогов. Были выделены два вида признаков, которые описывали анализируемый нейронными сетями поток данных: (1) данные внутри сообщения ограниченной длины (твита), которые содержали текст или изображение, (2) статистические данные, которые включали количество сообщений от пользователя, число комментариев к сообщению (эти данные собирались в рамках заданного промежутка времени). В проведенных авторами экспериментах наилучшую точность (более 78.5 %) показала четырехслойная нейронная сеть с методом субдискретизации mean-over-time.

В [2] предлагается решение задачи определения психологического портрета и индивидуальных особенностей характера человека. С этой целью в качестве входных данных использовались фотографии, собранные из соответствующих профилей в социальной сети Facebook, а в качестве метода анализа и классификатора – анализ коэффициентов корреляции Спирмена и логистическая регрессия. В результате выполненного авторами исследования было отмечено, что фотографии, размещенные в профилях коммуникабельных людей, содержат светлые области, а в фотографиях необщительных людей наблюдаются замкнутые области.

В [3] используется глубокая нейронная сеть, построенная для прогнозирования настроения отправителя сообщений. Вектор признаков, подаваемый на вход нейронной сети, формируется иерархически: часть признаков извлекается из отдельных символьных последовательностей, другая часть – из предложений.

В [4] применяется наивный байесовский классификатор, обученный для выявления уровня эмоционального воздействия, которое производится на человека в результате просмотра им заранее подобранных изображений. При формировании вектора признаков использовались различные параметры, касающиеся цветовых палитр изображения.

Анализ рассмотренных работ подтверждает актуальность задачи построения систем, направленных на обнаружение подверженности пользователей деструктивному воздействию. В отличие от этих работ, исследование, представленное в настоящем докладе, направлено на разработку комплексной методики, охватывающей анализ разнородных данных (скалярных величин, текста, изображений) и сочетающей в себе искусственные нейронные сети.

Методика. В рамках разработанной методики выделяются три шага:

1. На первом шаге собираются данные, описывающие профили пользователей социальной сети;
2. На втором шаге формируется вектор признаков, подлежащий обработке при помощи искусственных нейронных сетей;
3. На третьем шаге выполняется обучение нейронных сетей или классификация пользователей по шкалам теста Аммона.

Первый шаг методики. Собранные данные о пользователях социальной сети были размечены по 18 психологическим шкалам теста Аммона (6 Я-функций с компонентом конструктивности, 6 Я-функций с компонентом деструктивности, 6 Я-функций с компонентом дефицитарности). Каждая шкала имеет значение Т-балла (T): если $0 \le T \le 39$, то значение Т-балла низкое; если $40 \le T \le 60$, то значение Т-балла среднее, если $61 \le T \le 110$, то значение Т-балла высокое. В анализируемом наборе данных представлено 460 уникальных записей о профилях пользователей социальной сети.

Второй шаг методики. После сбора данных, касающихся профилей пользователей социальной сети, было выполнено вычисление параметров, формирующих векторы признаков. Данные векторы используются для обучения нейронной сети и вычисления значения шкалы теста Аммона. Исходные данные, описывающие вектор признаков, были сгруппированы по трем типам: (I) численные параметры (например, количество фотографий и друзей в профиле пользователя), (II) набор слов (например, наиболее часто используемые слова внутри каждой психологической шкалы), (III) параметры, полученные в результате обработки изображений.

Третий шаг методики. Из трех компонентов психологических шкал теста Аммона был выбран компонент деструктивности, в качестве классификаторов использовались машина опорных векторов (МОВ), линейная регрессия (ЛР), многослойная нейронная сеть (МНС) с функцией активации ReLU и сверточная нейронная сеть (СНС). Первые два классификатора обучались только на численных параметрах (параметрах первого типа), для МНС вектор признаков включал параметры первого, второго и третьего типов, а также посты, обучение СНС осуществлялось только с использованием постов, размещенных пользователем социальной сети.

Эксперимент. В таблице представлена точность классификаторов, вычисленная для деструктивного компонента шести Я-функций. При проведении эксперимента использовалась 10-блочная перекрестная проверка, в результате применения которой было выявлено, что наилучшей точностью обладает классификатор, построенный на основе МНС.

Таблица

Точность классификаторов

Классификатор						
МНС (I тип)	МНС (I, II типы)	МНС (I, II, III типы)	МНС (I, II, III типы, посты)	МОВ (I тип)	ЛР (I тип)	СНС (посты)
Деструктивный компонент первой Я-функции						
68,74%	69,62%	70,1%	70,15%	68,49%	30,89%	64,48%
Деструктивный компонент второй Я-функции						
57,87%	62,18%	59,36%	59,76%	55,4%	41,84%	46,94%
Деструктивный компонент третьей Я-функции						
48,96%	49,89%	52,32%	52,82%	48,35%	39,21%	44,51%
Деструктивный компонент четвертой Я-функции						
66,23%	66,47%	66,65%	66,12%	65,07%	30,41%	58,99%
Деструктивный компонент пятой Я-функции						
50,43%	48,51%	51,39%	51,59%	48,57%	41,12%	43,85%
Деструктивный компонент шестой Я-функции						
67,39%	67,62%	67,8%	67,6%	67,79%	47,74%	59,06%
Среднее значение						
59,94%	60,71%	61,27%	61,34%	58,95%	38,54%	52,97%

Заключение. В докладе была предложена методика классификации пользователей социальной сети по психологическим шкалам теста Аммона. В результате эксперимента были исследо-

ваны несколько типов нейронных сетей, среди которых наибольшей точностью обладает МНС. Направление дальнейших исследований – расширение набора вычисляемых признаков.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 18-29-22034 мк

ЛИТЕРАТУРА

1. Lin H., Jia J., Guo Q., Xue Y., Li Q., Huang J., Cai L., Feng L. User-level psychological stress detection from social media using deep neural network. Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia. 2014. P. 507–516.
2. Segalin C., Celli F., Polonio L., Kosinski M., Stillwell D., Sebe, N., Cristani M., Lepri B. What your Facebook profile picture reveals about your personality. Proceedings of the 2017 ACM on Multimedia Conference. 2017. P. 460–468.
3. dos Santos C., Gatti M. Deep convolutional neural networks for sentiment analysis of short texts. Proceedings of COLING 2014, the 25-th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers. 2014. P. 69–78.
4. Machajdik J., Hanbury A. Affective image classification using features inspired by psychology and art theory. Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia. 2010. P. 83–92.

A.A. Branitskiy, E.V. Doynikova, I.V. Kotenko, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), St. Petersburg

Technique of Classification of Social Network Users by the Psychological Scales of the Ammon Test Based on Artificial Neural Networks

The technique of classification of social network users by the psychological scales of the Ammon test has been developed. Artificial neural networks of several types (support vector machine, linear regression, multilayer neural network and convolutional neural network) were used as classifiers. The scope of the technique is to identify deviations in the psychological state of social network users and monitor this change. Experiment has been carried out, as a result of which it was found that a multilayer neural network with an activation function of the ReLU type has the best accuracy.

Р. Р. ФАТКИЕВА, Е. Л. ЕВНЕВИЧ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРИМЕТРОМ МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Мониторинг информационной безопасности промышленных объектов производится с участием средств, порождающих наборы гетерогенных данных, что не всегда согласуется с использованием различных нормативных документов. Формирование характеристик безопасности на основании данных периметра мониторинга и определения его уровня безопасности осуществляется чаще всего с помощью вычисления интегрального показателя, недостаточно отражающего отдельные аспекты обеспечения безопасности. Предложен метод гармонизации взаимодействия ПмО и формирования набора показателей безопасности на основе формализации описания предметной области и унификации схемы описания данных.

Введение. Одна из основных проблем гармонизации систем мониторинга и управления промышленными объектами (ПмО) – это отсутствие методологических рекомендаций по измерению, интерпретации и оценке параметров функционирования, которые представляют собой разнородные данные, полученные как прямым измерением, так косвенным.

Решение проблемы для большого количества разнообразных средств мониторинга, включенных в периметр ПмО, требует введения ведомственных законодательных актов в отрасли, или внесения изменений в существующие правила функционирования в пределах группы предприятий ПмО [1]. Однако обоснование подобных изменений в регламентирующих документах чаще всего основывается на оценке интегрального показателя по критерию максимизации целевой функции, что не всегда может обеспечить заданный уровень управляемости и устойчивости комплекса ПмО. Это подтверждает необходимость введения процедуры гармонизации [2], задачей которого является построение непротиворечивого формального описания предметной области и разработки прикладного программного обеспечения для поддержки унифицированной схемы данных, включая построение терминологических таксономий, предикативных отношений, дескриптивных ограничений для вывода новых данных о функционировании показателей и расширение множества правил вывода.

Характеристика подходов к управлению ПмО. К настоящему времени сложились следующие подходы к управлению группой распределенных ПмО: семантический – на основе анализа терминологического и понятийного аппарата описаний продукции, процессов и ресурсов ПмО и построения онтологий предметной области; проектно-системообразующий – на основе логического анализа происходящих процессов на разных стадиях жизненного цикла ПмО; динамический – на основе текущего мониторинга состояния и оценки показателей ПмО, таких как надежность, безопасность, эффективность использования ресурсов.

С другой стороны, в связи с развитием индустриального Интернета требования к системам мониторинга, обладающим единым центром управления, только начинает формироваться. Так, в ГОСТ'е [3] уже явным образом указано о возможности применения как централизованного, так и полицентрического способов организации систем мониторинга и управления. В этих условиях остро встает вопрос о единстве методов измерений, обработки и передачи информации, необходимой для принятия решений в области управления при взаимодействии ПмО. Для достижения необходимого уровня функционирования требуется системное согласование всех используемых мер, методов и средств управления, а также разработка методов и алгоритмов согласования операционных процессов ПмО.

Метод формирования системы гармонизации взаимодействия ПмО. Пошаговое описание предлагаемого метода:

Шаг 1. Формализация процесса операционной деятельности и процедур согласования набора показателей, оценивающих эту деятельность (рис. 1).

Шаг 2. Определение периметра обеспечения выполнения заданных целевых показателей, сформированных на шаге 1, с возможностью изменения их в процессе функционирования, для чего необходимо (рис. 2):

2.1. Сформировать группу ПмО и операционных процессов для мониторинга. Определить границы периметра и методы идентификации его нарушения.

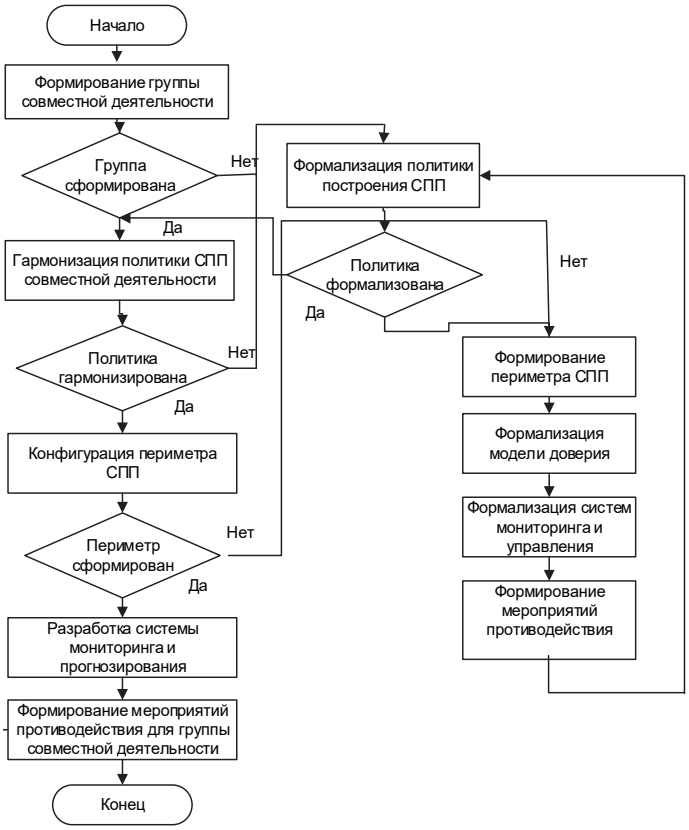


Рис. 1. Метод формирования системы гармонизации взаимодействия систем, входящих в ПмО

Рис. 2. Метод формирования периметра показателей мониторинга группы ПмО

2.2. Осуществить определение политики идентификации элементов, входящих в ПмО (ЭЦП, хеширование идентификатора, туннелирование), с присвоением уникального идентификатора (метаданных платформы, ключей и т. п.) согласно политике идентификации. Это позволит отслеживать перемещения элементов мониторинга в заданном периметре.

2.3. Произвести аттестацию ПмО.

2.4. Осуществить инициализацию набора данных для мониторинга согласно сформированной политике взаимодействия.

Шаг 3. Разработка системы реагирования как для каждой из систем ПмО, так и для деятельности в целом, состоит из следующих этапов (рис. 3):

3.1. Измерение и сбор данных о системе (определение периода мониторинга сбора данных о динамике изменения периметра динамических объектов).

3.2. Обработка данных (агрегирование, определение ключевой информации, поиск сигнатур по текущему множеству изменения показателей, классификация типа показателей).

3.3. Анализ текущего состояния (сравнение с заранее созданным шаблоном (поиск строк, регулярных выражений и т. д.), распознавание (последовательное сравнение со всеми сигнатурами, дерево сравнений, декомпозиция, ассоциативный доступ).

3.4. Оценка результатов (анализ изменений функции распределения, изменения топологии системы, изменения производительности системы и др.

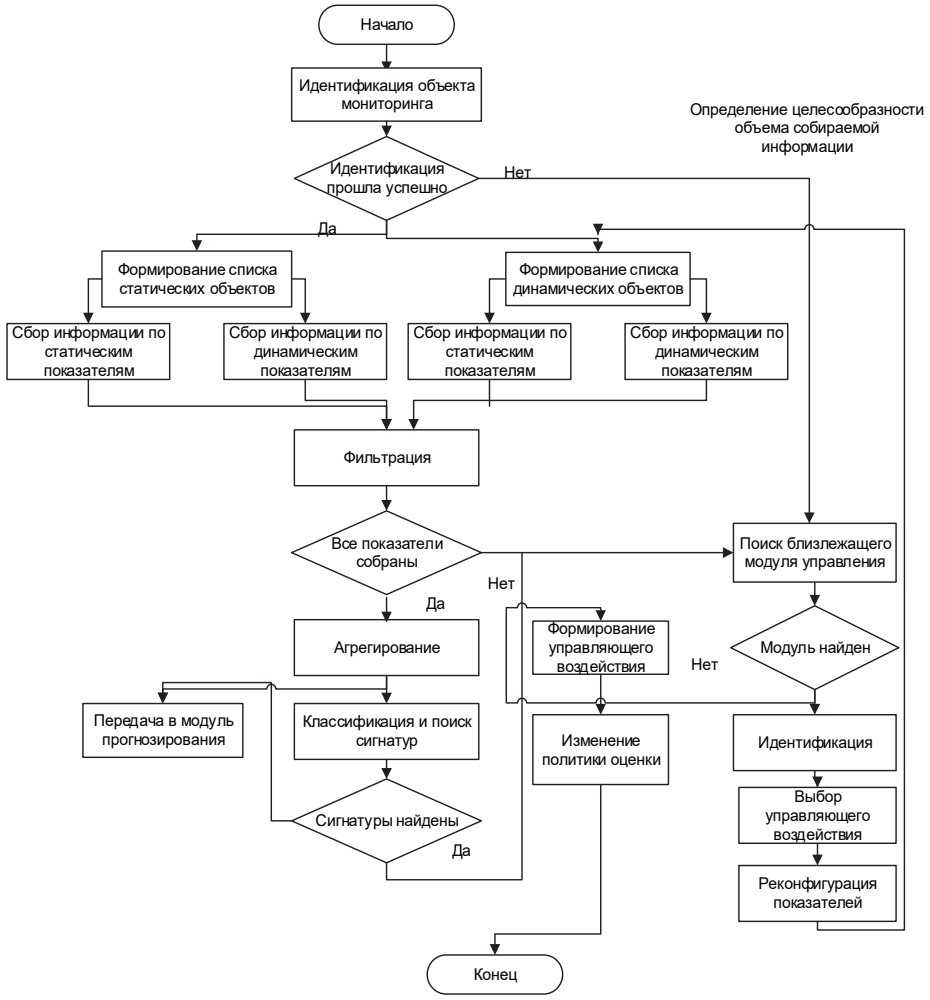


Рис. 3. Алгоритм формирования системы мониторинга

3.5. Прогнозирование состояния (анализ и выбор алгоритма прогнозирования в зависимости от уровня, глубины, горизонта и изменения функции распределения, построение прогноза).

3.6. Выработка мероприятий по обеспечению информационной безопасности.

Заключение. Анализ результатов по структурно-параметрическому синтезу ПМО и операционных процессов, в них протекающих, продемонстрировал необходимость введения системы показателей, отражающих на каждом уровне структуры предприятия динамику изменения характеристик. Показано, что в интересах совершенствования выпуска изделий на предприятии целесообразно внедрение совокупности взаимосвязанных показателей достижения стратегических целей, позволяющих оценивать динамику взаимодействия объектов и производить реконфигурацию операционных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Воробьев В.И., Фаткиева Р.Р., Шичкина Ю.А.** Автоматизация процесса корректировки регламентирующих документов в соответствии со стандартами информационной безопасности // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», № 3, 2016. С. 20–25.
2. **Воробьев В.И., Фаткиева Р.Р., Евневич Е.Л., Марков В.С.** Приведение результатов сетевых измерений информационной безопасности в соответствии с рекомендациями ФСТЭК на основе процедуры гармонизации // Управление экономическими системами: электронный научный журнал, № 12(84), 2015. С. 22–23.
3. **ГОСТ Р 56875-2016.** Информационные технологии (ИТ). Системы безопасности комплексные и интегрированные. Типовые требования к архитектуре и технологиям интеллектуальных систем мониторинга для обеспечения безопасности предприятий и территорий. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.02.2016 N 81-ст: дата введения 2017-01-01.

R.R. Fatkieva, E.L. Evnevich (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

Management of the Perimeter for Monitoring the Information Security of Industrial Facilities

Information security monitoring of industrial facilities is carried out with the participation of tools that generate sets of heterogeneous data, which is not always consistent with the use of various regulatory documents. The formation of safety characteristics based on the data of the monitoring perimeter and the determination of its safety level is most often carried out by calculating an integral indicator that does not sufficiently reflect certain aspects of safety. A method is proposed for harmonizing the interaction of PMO and forming a set of safety indicators based on the formalization of the description of the subject area and the unification of the data description scheme.

К. Е. ИЗРАИЛОВ
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича (СПбГУТ), Санкт-Петербург

П. Е. ЖУКОВСКАЯ, П. А. КУРТА
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича (СПбГУТ), Санкт-Петербург

А. А. ЧЕЧУЛИН
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича (СПбГУТ), Санкт-Петербург

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПАРОЛЯ К ПЕРЕБОРУ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Поставлена задача на разработку опросной системы, позволяющей делать предсказания относительно стойкости паролей пользователя к перебору. Предложен способ создания такой системы, основанный на методах машинного обучения, а также описана гипотеза, лежащая в его основе. Предложены шаги способа, состоящие из разработки набора вопросов, реализации самой системы, обучения и тестирования искусственной нейронной сети. Приведены результаты проведенного эксперимента, произведено их обсуждение и сделаны выводы касательно развития способа.

Введение. Задача обеспечения безопасности доступа в информационную систему является одной из основополагающих в области информационной безопасности [1]. И если программно-аппаратные средства и способны обеспечивать высокий уровень защиты, то человеческий фактор все также остается основной причиной угроз. Так, безответственное отношение пользователей к сложности своих паролей позволяет произвести их перебор злоумышленником, что приводит к несанкционированному доступу к информации. Зная о таких пользователях, можно как не допускать их к критическим информационным ресурсам, так и проводить дополнительные мероприятия по повышению «культуры информационной безопасности». Таким образом, выявление «слабых» пользователей с позиции парольных систем является актуальной задачей области. Для ее решения одним из способов может быть предлагаемый в статье, а именно – применение опросной системы, позволяющей предсказывать сложности паролей, создаваемых пользователем – их стойкости к перебору. В отличие от существующих способов, направленных больше на выявление инсайдеров [2], регулирования политик паролей, данный направлен на решение качественной задачи более высокого уровня – проверки и повышения благонадежности сотрудников, понижая тем самым влияние человеческого фактора на информационную безопасность. Основной трудностью решения является то, что требуется совместить качественно разные аспекты – социально-психологические, влияющие на задаваемые пользователем пароли [3] и вероятностно-статистические, определяющие сложность подбора пароля злоумышленником [4]. При этом, поскольку нахождение соответствия аспектов является отдельной сложной задачей, предлагается применение для этого машинного обучения в части искусственной нейронной сети (часто применяемой в информационной безопасности [5]). Последняя позволит произвести классификацию или регрессию ответов на вопросы пользователя по сложности его паролей.

Схема способа. Опишем гипотезу, лежащую в основе идеи предлагаемого способа. Предположим, имеются два пользователя парольной системы. При этом первый (например, Алиса) увлекается художественной литературой, имеет домашнее животное и романтический взгляд на жизнь. Второй же (например, Боб) полностью поглощен математическими науками, увлечен программированием и компьютерными играми, а также абсолютный прагматик. Не вдаваясь в подробности различных рассуждений, а также исходя из предварительно проведенного исследования пользователей подобного типа, можно предположить следующее. С некоторой вероятностью пароль Алисы будет иметь отношение к области гуманитарных знаний – можно предположить, что пароль будет состоять из имен литературных героев,

названий произведений и т. п.; отметим, что авторские исследования частично подтвердили подобную догадку. С другой стороны, Боб, изначально являясь более осведомленным в IT-сфере, а также понимающий алгоритмические принципы переборов (по алфавиту или словарю), предложит более сложный пароль, использующий возможно жаргонные термины или фразы, общеупотребимые лишь в его «цифровом комьюнити». Как следствие, можно предположить большую сложность подбора его пароля. Естественно, данные рассуждения являются тривиальными, частными и не могут лежать в основе построения общей логики определения сложности пароля; так, например, бесконечное усложнение пароля приведет к тому, что он не будет запомнен пользователем, а значит, окажется бесполезным. Тем не менее, суть гипотезы, вытекающей из рассуждений выше, заключается в следующем: «Социально-психологические особенности пользователя парольной системы оказывают влияние на сложность создаваемых им паролей».

Исходя из решения задачи выявления слабых пользователей, опишем схему предлагаемого способа.

Шаг 1. Необходимо составить список вопросов, который бы разносторонне отражал пользователя парольной системы. При этом делать какие-либо предположения касательно влияния ответов на свойства итогового пароля будет категорически ошибочным, поскольку как уже указывалось, такие взаимосвязи являются отдельно стоящей трудно-решаемой задачей, требующей проведения не одного научного исследования.

Шаг 2. Необходимо разработать опросную систему, которая помимо принятия ответов на вопросы запрашивала бы у пользователя типовой для него пароль. Также целесообразно запросить пароль в начале и конце опроса для проверки того, что он действительно хорошо запоминаем пользователем, а значит отражает особенности последнего.

Шаг 3. Необходимо выбрать механизм определения сложности пароля. Для этого возможно применение различных онлайн-ресурсов. Так, например, сайт Kaspersky Password Check (https://password.kaspersky.com/) выдает время подбора вводимого пароля, что может считаться его сложностью.

Шаг 4. Необходимо выбрать группу несвязанных друг с другом пользователей и произвести их тестирование с помощью разработанной системы. В результате будет получена таблица ответов на вопросы и сложности их типовых паролей.

Шаг 5. Необходимо построить и обучить искусственную нейронную сеть для решения задачи регрессии, где признаками являлись бы вопросы, входными данными – ответы на вопросы, выходными данными – сложность пароля.

Шаг 6. Необходимо протестировать обученную искусственную нейронную сеть на новых входных данных и сравнить результаты, получаемые на онлайн-ресурсе, с результатами, получаемыми сетью.

Необходимо уточнить смысл термина «типового пароля». Под последним понимается тот, который является обычным, легко запоминаемым для пользователя, отражает его собственные социально-психологические особенности, представляет собой некую базу для реально используемых. Данная гипотеза о наличии у пользователей некоторых закономерностей среди всех создаваемых паролей была обоснована проведенным авторским исследованием, предваряющим данное. Например, замечено, что люди, обладающие гуманитарным складом ума и хорошо знакомые с художественной литературой, зачастую используют в частях паролей имена известных персонажей, фразы из классических произведений, исторические события. Сотрудники научной сферы могут применять названия физических установок, значения констант, даты великих открытий. Представители же неформальной молодежи часто оперируют жаргонными выражениями, повторениями символов, заменой букв на визуально подобные знаки. Естественно, такие закономерности не являются доказанным правило; тем не менее, они позволяют утверждать, что понятие «типовой пароль» имеет право на существование. В интересах вышесказанного и предназначены проверки на Шаге 2. Так, успешное их прохождение подтвердит, что пароль действительно является типовым для пользователя, поскольку был создан в начале опроса и безошибочно воспроизведен в конце. Естественно, система полагается на то, что пользователь запомнил придуманный пароль, а, например, не записал его на носителе информации.

А поскольку система предлагает именно придумать новый, легко запоминающийся пароль, а не ввести реально используемый в жизни, то ни при обработке его системой, ни при отправке на онлайн-ресурс (на Шаге 3) конфиденциальность пользовательской информации не будет нарушена.

В результате выполнения всех шагов будет получена оценка того, насколько успешно может применяться искусственная нейронная сеть для предсказания сложности паролей пользователей на основании их ответов на вопросы.

Результаты эксперимента. В интересах подтверждения гипотезы и проверки работоспособности предложенного способа был разработан прототип опросной системы – с использованием Google Form для проведения опроса, Kaspersky Password Check для оценки сложности пароля (отнормированной от 0 до 1) и программы на языке Python для реализации искусственной нейронной сети. Опрос состоял из 37 вопросов вида «Ваш пол?», «Есть ли домашние животные?», «Часто ли Вы фотографируете?» и др. Для упрощения реализации система запрашивала пароль только в конце опроса (т.е. один раз, а не два), не проверяя тем самым, насколько он действительно близок пользователю. Это конечно вносит некоторый шум в корректность ответов, но не является критичным.

Всего было опрошено 83 пользователя, 67 из которых использовались для обучения искусственной нейронной сети, а 16 – для тестирования. Затем, для тестируемых пользователей было произведено сравнение сложности их пароля – реальной с помощью сайта и прогнозируемой с помощью искусственной нейронной сети. Результаты сравнения показаны на рисунке.

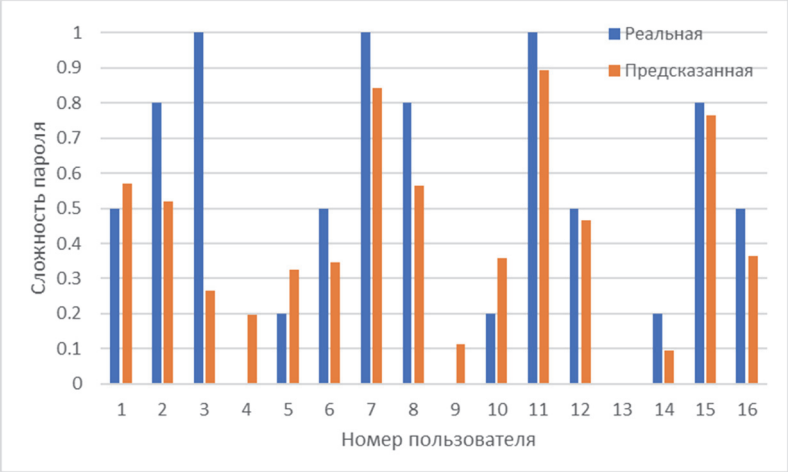


Рисунок. Результаты сравнения реальной и предсказанной сложности пароля пользователя

Согласно результатам тестирования прототипа опросной системы (рисунок), она показала хорошие результаты – средний разброс реальных и предсказываемых сложностей паролей составил ~17%.

Обсуждение. Естественно, полученные результаты не могут служить гарантированной достоверностью работоспособности способа и прототипа системы, поскольку было как допущено упрощение в последней, так и общая выборка пользователей является достаточно малой и скорее всего не имеющей требуемого качества. Тем не менее, уже сейчас можно утверждать, что определенные закономерности между социально-психологическими особенностями человека и степенью сложность создаваемых им паролей существует.

Выводы. В интересах предварительной проверки гипотезы была разработана и исследована опросная система, направленная на обнаружение слабых пользователей (с позиции парольных систем) превентивным способом – т. е. еще до их непосредственной работы. Первые результаты показали гипотетическую работоспособность способа. Тем не менее, для оценки эффективности предложенного способа необходимо расширение проверяемых вопросов (включая касающиеся интерфейсных элементов систем [6]), получение более независимой выборки пользователей, проведение полномасштабного тестирования на их большем количестве, оценка различных метрик качества результатов. Все это планируется осуществить авторами в дальнейшей научной работе.

Исследование проводится при поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения № 05.607.21.0322 (идентификатор RFMEFI60719X0322).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Буйневич М.В., Васильева И.Н., Воробьев Т.М., Гниденко И.Г., Егорова И.В. и др.** Защита информации в компьютерных системах: монография. СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2017. 163 с.
2. **Буйневич М.В., Власов Д.С.** Сравнительный обзор способов выявления инсайдеров в информационных системах // Информатизация и связь. 2019. № 2. С. 83-91.
3. **Войскунский А.Е., Нафтульев А.И.** Актуальные психологические проблемы кибер-этики // Гуманитарная информатика. 2007. № 3. С. 31-39.
4. **Блинов А.С., Степаненко М.А.** Оценка достаточной сложности пароля для безопасного использования на веб-ресурсах // Исследования в области естественных наук. 2014. № 8 (32). С. 24-27.
5. **Буйневич М.В., Израилов К.Е.** Обобщенная модель статического анализа программного кода на базе машинного обучения применительно к задаче поиска уязвимостей // Информатизация и связь. 2020. № 2. С. 143-152.
6. **Ахунова Д.Г., Вострых А.В., Курта П.А.** Оценка пользовательского интерфейса информационных систем посредствам моделей качества программного обеспечения // Информатизация и связь. 2020. № 2. С. 127-135.

K.E. Izrailov (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIARAS), Saint-Petersburg; The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, (SPbSUT), Saint-Petersburg)

P.E. Zhukovskaya, P.A. Kurta (The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, (SPbSUT), Saint-Petersburg)

A.A. Chechulin (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIARAS), Saint-Petersburg; The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, (SPbSUT), Saint-Petersburg)

Research of the Method for Determining the Password Resistance to Brute Force on the Basis of an Artificial Neural Network

The task is to develop a polling system that makes it possible to make predictions about the strength of user passwords to brute force. A method for creating such a system based on machine learning methods is proposed, and the hypothesis underlying are described. There are descriptions of the method, which include the development of a set of questions, the implementation of the system itself, training and testing of an artificial neural network. The results of the experiment are given, they are discussed and conclusions are drawn regarding the development of the method.

КРУГЛЫЙ СТОЛ ПО ПРОБЛЕМАМ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ

А. Г. СТЕПАНОВ, Г. А. ПЛОТНИКОВ
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург

КОМПЬЮТЕРНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Обосновывается актуальность задачи создания систем компьютерного тестирования. Обсуждается необходимая инструментальная база и организация тестирования. Анализируются существующие варианты тестовых заданий и обсуждаются варианты их создания с учетом имеющихся возможностей их реализации.

Введение. Внезапно начавшийся режим самоизоляции в связи с пандемией короновируса существенно обострил интерес к дистанционным формам обучения. Столетиями существовавшие формы обучения в течение нескольких дней вузам пришлось перевести в дистанционный формат. Естественно, что степень готовности учебных заведений к этой операции была различной, однако замену канала передачи информации от преподавателя к студенту на электронный вариант удалось сделать относительно быстро. Гораздо более сложной оказалась другая задача – реализация обратной связи с обучающимися и проведение аттестаций по итогам обучения. Традиционное проведение экзаменов оказалось практически невозможным в силу множества причин. Поэтому в более выигрышном положении оказались те вузы, которые использовали системы компьютерного тестирования. Хотя в целом на фоне ЕГЭ отношение к тестированию как в педагогическом сообществе, так и в основной массе заинтересованного населения нельзя назвать положительным, отрицать его достоинства в сложившейся ситуации оказалось странным. Предлагаемый доклад посвящен анализу современного состояния технологии компьютерного тестирования в высшей школе и возможным перспективам его развития.

Назначение и инструментальная база компьютерного тестирования. Компьютерное тестирование является удобным способом оценки знаний, а в некоторых случаях еще умений и навыков обучаемых. Тем не менее, при его проведении у организаторов возникает ряд дополнительных по сравнению с традиционными методами контроля проблем, связанных с обеспечением надежности и валидности измерения уровня знаний испытуемых [1]. Кроме традиционных для обычных экзаменов мер предотвращения подсказывания, которые широко известны и регламентированы процедурой проведения испытаний, приходится принимать во внимание ряд дополнительных обстоятельств, связанных с достаточно высоким уровнем развития в обществе информационных технологий. Проведение компьютерного тестирования невозможно без существования электронной образовательной среды вуза, наличия соответствующих компетенций у профессорско-преподавательского состава, недопущения утечки информации о содержании тестов, минимизации вероятности правильного угадывания ответов, а также предотвращения списывания и совместного решения задач.

Если в качестве базовой системы управления обучением в вузе используется система типа Moodle [2], то при ее соответствующей настройке технические и программные средства информационной образовательной среды удовлетворяют требованиям информационной

безопасности и данные о содержании тестов достаточно хорошо защищены. Как следствие, основную опасность для качества оценивания начинают представлять дополнительные факторы внешней среды (регламент проведения тестирования и возможность подсказывания у студентов, наличие у студентов доступа к интернету и другим средствам связи, составление и использование таблиц правильных ответов и т.п.). Очевидно, что организационные и административные действия экзаменаторов должны обеспечивать предотвращение перечисленных угроз. В идеале вся технология организации тестирования должна быть нацелена на решение следующей задачи: студенту должно быть проще изучить материал, чем придумывать способ обмана системы.

Организация компьютерного тестирования. При проведении компьютерного тестирования в системе управления обучением используется предварительно сформированный банк контрольных вопросов. Его удобно разбить на категории и подкатегории в соответствии с разделами и подразделами проверяемой дисциплины. Конкретный билет теста формируется случайным выбором вопросов из заданных категорий. Поэтому для обеспечения надежности тестирования наполнение каждой категории тестовыми заданиями должно соответствовать некому минимальному значению. В этом случае удастся обеспечить возможность охватить всю структуру изучаемого материала. Если предположить, что минимальное количество тестовых заданий в любой подкатегории не менее десяти, то общее количество заданий в стандартной дисциплине может доходить до тысячи.

Собственно, тест проводится в соответствии с расписанием, например, экзаменационной сессии с собственных компьютеров студентов. При проведении теста экзаменатор должен наблюдать за работой экзаменуемого по видеосвязи. Это обстоятельство и ограничивает количество одновременно тестируемых студентов. Время теста также ограничено и зависит от количества тестовых заданий в билете. На практике при использовании билета из 30 вопросов мы разрешали отвечать на них в течение 60 минут. Как правило, студентам этого времени хватало с избытком.

Любая компьютерная программа, как и система тестирования, может иметь собственные ошибки. При проведении компьютерного теста в большинстве случаев это ошибки настройки тестовых заданий. Кроме чисто технических ошибок, например, ошибка в формулировка вопроса или ошибка в указании правильного ответа, встречаются более сложные ситуации, связанные со смыслом. Как известно, одно и то же утверждение может быть истолковано разными людьми по-разному. При автоматическом оценивании ответов отсюда вытекает проблема различной интерпретации вопроса или ответа, поскольку один и тот же знак может указывать на различные вещи в зависимости от ситуации. Как следствие, по завершению тестирования приходится в обязательном порядке уточнять мнение студента относительно полученной им оценке за каждое задание и, при необходимости, ее корректировать.

Виды заданий для компьютерного тестирования. Надежность и валидность тестирования существенно зависят и от качества самих тестовых заданий. Обычно их разделяют на два основных варианта: закрытого и открытого типов. В первом случае испытуемый выбирает заранее подготовленный вариант ответа, а во втором ответ вводится в компьютер любым другим возможным способом, например, набирается с клавиатуры. Распространенные ранее вопросы закрытого типа, предусматривающие ответ типа «да – нет» или выбор правильного ответа из нескольких неправильных, обычно не представляют особой сложности для испытуемых и могут использоваться для обучения навыкам работы с самой системой тестирования на начальных этапах обучения. Современные технологии закрытых вопросов, реализованные, в частности, в Moodle, позволяют создавать вопросы с несколькими правильными ответами и различными вкладами ответов в общую оценку. Существуют возможности формулировать вопросы в графической форме в виде заранее подготовленных рисунков и ряд других. Появился относительно новый вид вопросов «на соответствие», которые позволяют автоматизировать проверку, например, понимания сразу большого количества терминов.

Наибольшие затруднение у студентов и, как следствие, максимальный эффект при контроле знаний обеспечивают вопросы открытой формы. Их простейший вид в качестве ответа предусматривает ввод с клавиатуры последовательности символов. При необходимости система учитывает правильность установки регистра, а также предусматривает возможность

игнорирования окончаний слов, что обеспечивает инвариантность ответа с учетом различных его склонений и спряжений.

Еще один вид заданий – это так называемые вычисляемые вопросы. Они предполагают выполнение студентами определенных заданий, связанных с вычислениями по формулам, которые студент обязан знать в рамках контролируемой учебной дисциплины. Фактически выполнение подобных заданий позволяет проконтролировать умения и навыки. Задание формулируется в текстовой форме. В определенные, помеченные специальным способом, позиции текста могут быть вставлены сгенерированные датчиком случайные числа. Позднее они могут быть использованы для вычисления правильного ответа по программируемой разработчиком задания формуле. Введенный студентом числовой ответ на конкретное задание сверяется с результатом вычислений по формуле. Если он укладывается в задаваемый диапазон допустимых значений, то ответ засчитывается как правильный. При каждом сеансе тестирования датчики случайных чисел генерируют новую комбинацию значений. Как результат, система создает до нескольких сотен вариантов типовых тестовых заданий с разными исходными и результирующими данными.

При программировании выражения для правильного ответа вычисляемого вопроса могут использоваться арифметические операции и некий набор встроенных функций, что закрывает потребности составителя задания в элементарных математических вычислениях [3]. При создании заданий, связанных, например, с изучением языков программирования, возникает необходимость в программировании условных операторов. К сожалению, в перечне используемых встроенных функций такие возможности не предусмотрены. В этом случае удается заменить отсутствующую функцию выражением с использованием арифметических операций и функцией вычисления абсолютного значения числа, однако результирующие выражения получаются достаточно сложными при непосредственном программировании.

Заключение. Обобщая, отметим, что теперь после окончания пандемии компьютерное тестирование безусловно войдет в практику образования. Достаточная надежность и валидность тестирования могут быть обеспечены в результате целенаправленной работы по наполнению банков вопросов, преимущественному использованию вопросов открытой формы, вычисляемых вопросов, а также мониторингу текущих параметров надежности и валидности конкретной системы. Дальнейшее развитие компьютерного тестирования может идти по крайней мере в двух направлениях. Потребуется создание универсальных языков программирования формул для вычисляемых вопросов с более широкими по сравнению с имеющимися возможностями. Кроме этого, представляется целесообразной разработка систем с голосовым вводом и выводом по типу уже существующих технологий, используемых в некоторых браузерах (Алиса). Необходимая для этого алгоритмическая база уже создана и осталось выполнить работу по интеграции уже существующих программных решений в систему управления обучением. Реализация подобного подхода позволит во многом автоматизировать труд преподавателя в части контроля результатов обучения, а также создать условия для широкого использования компьютерных систем тестирования в самых разнообразных возрастных группах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Муратова Л.А**. (2016). Валидность и дискриминативность при исследовании и оценке качества теста «Интегральное исчисление» // Научный альманах. 2016. № 6-1(19), С. 323–326.
2. «Возможности совершенствования учебного процесса с использованием LMS Moodle» / **О.Г. Смолянинова, В.В. Трофимова, А.А. Мороз, Н.П. Матусевич. //** Современный ученый, 2019. №5. С. 116–121.
3. Математические функции. (PHP Group) Получено 16. 07. 2020 г., из http://php.net/manual/ru/function.base-convert.php

A. Stepanov, G. Plotnikov, (Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg)

Computer Testing as a Tool for Evaluating Learning Results

The urgency of the problem of creating system computer testing is substantiated. The necessary instrumental base and testing organization are discussed. Possible variants of test items are analyzed and options for their creation are discussed, taking into account the possibilities of their implementation.

О. Ю. БЕЛАШ, Ю. А. КОРАБЛЕВ, Е. Е. КОТОВА, М. Ю. ШЕСТОПАЛОВ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ. РАЗВИТИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Современный уровень развития производства требует подготовки квалифицированных специалистов, способных решать сложные научно-технические задачи в области управления техническими системами с использованием быстроменяющихся информационных технологий. Следовательно и подготовка кадров не должна отставать от потребностей разработчиков передовых систем управления сложными динамическими объектами.

В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» на кафедре АПУ успешно решается данная задача, т.к. подготовка студентов ведется по двум взаимодополняющим направлениям «Управление в технических системах» и «Информационные системы и технологии». Многолетний опыт доказывает правильность выбора такого подхода в условиях быстроразвивающегося технологического уклада.

В докладе приведены исследования, базирующиеся на методах и моделях анализа данных, получаемых в ходе учебного процесса, включая методы, позволяющие со стороны обучающихся оценить эффективность оказания образовательных услуг и уровень профессиональной подготовки по направлениям получаемой специальности в вузе и доказывающие обоснованность выбора данного подхода в обучении.

Введение. В условиях современной действительности успешное существование и конкурентоспособность высшего учебного заведения напрямую зависит от эффективности оказания образовательных услуг, от своевременного и быстрого реагирования образовательного учреждения (вуза) на потребности разработчиков промышленных объектов сложных технических систем в высококвалифицированных специалистах, подготовленных с опережением в этот быстроразвивающийся цифровой век, в чем основным проводником являются IT-технологии.

Существует настоятельная общая потребность в принципиальных изменениях в образовании, также вызванных современными инструментами электронного обучения, услугами и информационными технологиями.

Актуальность развития образовательного направления, ориентированного на всестороннее внедрение информационных технологий в управление техническими системами, обусловлена положениями в Указе Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы»: интенсификацией использования технологий (п. 12); повсеместным внедрением технологий обработки данных (п. 14); усовершенствованием механизмов обмена знаниями (п. 26,д); необходимостью использовать и развивать различные образовательные технологии... (п. 26,и)».

Реализация отмеченных положений видится в принципиально новых подходах к управлению процессом подготовки высокопрофессиональных специалистов по направлениям «Управления в технических системах» и «Информационные системы и технологии» на основе актуального мониторинга, всестороннего анализа данных, прогнозирования траекторий «роста» уровня знаний с учетом как субъективных предпочтений и личностных особенностей обучающихся, так и влияния внешних факторов – изменений требований работодателей, увеличения вычислительных мощностей, что возможно с применением методов интеллектуальной аналитики и технологий искусственного интеллекта.

В докладе приводятся результаты анализа состояния подготовки обучающихся по отмеченным программам, представлены результаты исследований, определены перспективы развития направлений подготовки.

Особенности подготовки специалистов в ЛЭТИ по направлениям «Управление в технических системах», «Информационные системы и технологии». В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» на кафедре АПУ подготовка студентов ведется по двум взаимодополняющим направлениям

«Управление в технических системах» и «Информационные системы и технологии». В основе подготовки обучающихся заложена идея развития и интегрирования двух образовательных направлений ввиду направленности образовательных процессов на всестороннее применение цифровых технологий и технологий искусственного интеллекта.

Уровень развития образовательного направления связан со следующими особенностями:

1. Развитие новых концепций и методов управления сложными динамическими объектами.
2. Применение современных информационных технологий при разработке систем управления техническими объектами.

Эти особенности накладывают свой отпечаток на осмысление в преподавании дисциплин в области систем управления, применение новых образовательных методик и индивидуальных траекторий обучения специалистов.

В данном плане интересным представляется опыт интеграции двух образовательных направлений: «Управление в технических системах» и «Информационные системы и технологии». В докладе авторы делятся накопленным многолетним опытом, доказывающим целесообразность выбора такого подхода в условиях быстроразвивающегося технологического прогресса.

В университете постоянно проводятся опросы работодателей и студентов, которые оценивают работу преподавателей и на этой основе формируется дальнейшее направление развития образовательного направления.

Проведенные опросы студентов и работодателей подтверждают правильность выбранного направления развития кафедры АПУ в сфере подготовки специалистов. Особенно, это проявляется на старших курсах бакалавриата и в магистратуре. Спрос у работодателей на такого рода специалистов практически 100 % [1, 2].

Следовательно, очевидная перспективность развития взаимодополняющих направлений подготовки студентов требует и принципиальных изменений в преподавании курсов с использование современными инструментами электронного обучения.

Инструменты подготовки специалистов. Интенсивное развитие технологий электронных форм обучения (E-learning) способствовало применению динамического подхода к управлению формированием профессионального потенциала учащихся.

Динамические системы и математическое моделирование стало возможным применять к изучению сложных организаций, таких, как образовательные системы, ориентированные на повышение эффективности взаимодействия между образовательными учреждениями, потребителями образовательных услуг и потребителями квалифицированных кадров.

Выявление значимости показателей развития высокопрофессиональных специалистов в процессе обучения основывается на исследованиях в областях педагогики, дидактики, управленческой науки, которые включают экспериментальную, теоретическую, исследовательскую, методологическую направленность на получение новых знаний об основных закономерностях функционирования и развития процессов обучения в изменяющейся образовательной среде под влиянием цифровых технологий.

Инструменты подготовки специалистов в сфере наукоемких технологий требуют применения виртуальных лабораторий, моделей реальных процессов, программных инструментов и средств, реально использующихся на объектах в промышленных системах, в системах управления сложными динамическими объектами на основе новейших IT-технологий.

Важным аспектом применения современных подходов в обучении являются инструменты построения индивидуальных траекторий и интеллектуализации процесса подготовки обучающихся. Индивидуальное развитие и когнитивный рост – те изменения, которые являются ключевыми в понимании современной образовательной среды. Динамический подход, клиентоориентированный подход к профессиональному, когнитивному и личностному развитию обучающихся, сбор и интеллектуальный анализ образовательных данных меняет архитектуру и функциональное наполнение современной образовательной среды в сторону расширения возможностей оперативных изменений в ходе управления учебным процессом [3].

На кафедре АПУ разработаны инструменты, которые позволяют обеспечивать формирование индивидуального подхода к обучению с учетом слабых и сильных факторов,

составление методического инструментария, как одного из методов оценки, анализа и проектирования учебной деятельности [3].

Результаты исследований. Проведение комплекса исследований формирования профессионального потенциала специалиста цифровой экономики, влияющих факторов внешней среды на его развитие, включает создании наборов данных большого объема (Data Set) и баз знаний на основе мониторинга результатов процессов обучения и профессионально подготовки с применением новых эффективных методов управления слабо формализуемыми процессами передачи знаний, методов интеллектуального анализа данных (Data Mining), электронных хранилищ данных (Data Warehouses), методов машинного обучения (Machine Learning), анализа процессов (Process Mining), извлечения знаний (KDD, knowledge discovery in databases), анализа текстов (Ttext Mining), агентно-ориентированного подхода, являющихся наиболее эффективными инструментами для разработки интеллектуальных систем в области обучения и подготовки специалистов (Intelligent tutoring systems – ITS).

Результаты исследований учебного процесса показали необходимость:

- усиления значения исследовательской деятельности обучающихся в процессе обучения на реальных моделях, максимально приближенных к сложным техническим процессам;
- создания инфраструктуры поддержки инновационной деятельности обучающихся, дополняющей теоретические знания профессиональными навыками;
- интеграции «традиционных», «классических» дисциплин в области управления техническими системами с новейшими IT-технологиями, инструментами моделирования динамических процессов, методами инженерии знаний, программными инструментариями, интеллектуальными средами;
- ориентации учебных программ на усиленное транслирование инноваций, направленных на опережающее развитие научных и производственных отраслей;
- интеграции двух направлений с целью расширения формирования профессиональных компетенций обучающихся, ориентированных на развитие познавательной, образовательной, исследовательской, проектной, научно-практической деятельности с одной стороны, и в то же время более конкретный учет индивидуальных предпочтений в подготовке, с другой стороны.

Данные особенности учебного процесса возможно учесть при помощи разработки моделей адаптивных программ обучения на основе постоянного мониторинга процесса обучения, сбора данных, обратной связи от обучающихся, анализа актуальных данных квалификационных и профессиональных требований от работодателей.

Выводы (заключение). Подход, предполагающий интеграцию двух образовательных направлений «Управление в технических системах» и «Информационные системы и технологии» направлен в первую очередь на опережающую подготовку высококвалифицированных кадров для цифровой экономики, на подготовку специалистов, способных решать сложные научно-технические задачи в области управления техническими системами.

Немаловажный факт, что Выпускник магистратуры кафедры АПУ по направлению «Управление в технических системах» Г.А. Ефименко в 2020 г. был признан Минобрнауки России лучшим выпускником магистратуры вузов Санкт-Петербурга.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кутузов В.М., Белаш О.Ю., Кивит Е.Б., Муравьев А.В., Попов М.С., Рыжов Н.Г., Рясков Я.С., Шестопалов М.Ю.** Инструменты маркетинга в техническом университете. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 412 с.
2. **Belash O.Y., Popov M.S., Ryzhov N.G., Ryaskov Y.S., Shaposhnikov S.O., Shestopalov M.Y.**. Research on University Education Quality Assurance: Methodology and Results of Stakeholders Satisfaction Monitoring. Procedia - Social and Behavioral Sciences (2015). Pp. 344-358.
3. **Котова Е.Е.** Модели и методы интеллектуальной поддержки адаптивного управления процессом обучения. Изд-во Печатный Цех, 2019. 264 с.

O.Y. Belash, Y.A. Korablev, E.E. Kotova, M.Y. Shestopalov (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint-Petersburg)

Information Technologies in the Management of Technical Systems. Development of the Educational Direction

The current level of production development requires the training of qualified specialists capable of solving complex scientific and technical problems in the field of technical systems management using rapidly changing information technologies. Consequently, personnel training should not lag behind the needs of developers of advanced control systems for complex dynamic objects.

In ETU “LETI” (APU department) this problem is successfully solved, since training of students is carried out in two complementary areas: “Management in technical systems” and “Information systems and technologies”. Long-term experience proves the correct choice of this approach in a rapidly developing technological order.

This report presents research based on methods and models of data analysis that are obtained during the educational process. These methods allow students to assess the effectiveness of the provision of educational services and the level of professional training in the areas of the specialty received at the university and prove the validity of the choice of this approach in teaching.

Т. Б. ЧИСТЯКОВА, И. В. НОВОЖИЛОВА
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет, Санкт-Петербург)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ИНЖИНИРИНГОВЫХ КОМАНД ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ

Цифровизация промышленности с целью внедрения новых систем управления производством приводит к необходимости подготовки квалифицированных инженерных кадров, что особенно важно для предприятий полимерной промышленности. В статье рассмотрена методология для комплексного обучения инжиниринговых команд в области ресурсосберегающего управления жизненным циклом вторичной переработки полимеров. Предложенная методология апробирована на базе учебного центра «Полимер-экология» СПбГТИ(ТУ) при сотрудничестве с ООО «Завод по переработке пластмасс имени «Комсомольской правды», ФИОП РОСНАНО и АНО «НАРК».

Введение. Развитие цифровых производственных технологий с целью модернизации промышленных предприятий приводит к необходимости формирования высококвалифицированного кадрового обеспечения, что особенно важно для процессов вторичной переработки полимерных материалов в целях повышения качества продукции, повышения экологических характеристик, интенсификации рециклинга и возврата ценного сырья в производство [1]. Сложность процессов вторичной переработки полимеров заключается в выделении чистых фракций из смешанных пластиковых отходов. Наличие различных примесей в композиционных полимерных смесях приводит к необходимости производства изделий с более низкими потребительскими свойствами (технической полимерной пленки, труб, упаковочных материалов, технических емкостей и др.). Одним из инструментов ресурсосбережения, повышения качества полимерной продукции, эффективности разработки композиционных смесей на основе вторичных полимерных материалов является развитие системы кадрового обеспечения предприятий полимерной промышленности [2], обеспечивающей на базе разработки и внедрения инновационных технологий комплексное управление жизненным циклом технических полимерных изделий.

Предлагаемый доклад посвящен разработке методов и технологий подготовки инжиниринговых команд для ресурсосберегающего цифрового управления процессами вторичной переработки полимерных материалов в технические изделия с улучшенными экологическими и потребительскими характеристиками. Отличительной особенностью предлагаемой методологии является применение комплексного подхода в планировании и управлении жизненным циклом технических полимерных изделий с использованием междисциплинарных технологий и знаний из различных профессиональных областей (маркетинга, экономики, экологии, синтеза материалов, промышленного инжиниринга, автоматизированного управления и др.).

Постановка комплексной задачи управления жизненным циклом вторичной переработки полимерных материалов. Процессы производства полимерных материалов отличаются разнородностью физико-химических процессов переработки вторичного сырья, многофакторными взаимодействиями и связями, возникающими по ходу процесса, многообразием технологического оборудования, большим количеством контролируемых переменных, чувствительностью к возникновению брака продукции при выборе управляющих воздействий, а также строгими требованиями к экологическим показателям производства.

С учетом анализа запросов предприятия по переработке полимеров, особенностей производства и требований профессиональных стандартов инжиниринговая команда включают специалистов, задействованных на каждой стадии жизненного цикла полимерного изделия, что показано на рисунке.

Рисунок. Схема управления жизненным циклом вторичной переработки полимерных материалов

Решение комплексной задачи управления жизненным циклом вторичной переработки полимерных материалов можно сформулировать следующим образом: для выпуска определенного типа полимерного изделия $TP = \{TP_1, \ldots, TP_{tp}\}$ с заданными требованиями по качеству и потребительским характеристикам $QP = \{QP_1, \ldots, QP_{qp}\}$ необходимо:

1) Выполнить маркетинговое исследование потребности рынка во вторичных изделиях и сделать вывод о целесообразности его производства.

2) Разработать рецептуру композиционной смеси на основе вторичных полимерных материалов $RP = \{RP_1, \ldots, RP_{rp}\}$, определить состав сырья $FS = \{FS_1, \ldots, FS_{fs}\}$ для изготовления технического изделия с заданными требованиями по качеству $QP = \{QP_1, \ldots, QP_{qp}\}$, а также рассчитать экономическую эффективность смеси для ее возможной реализации.

3) Для выпуска определенного типа TP продукции, заданной составом сырья FS, рецептурой RP, требованиями к качеству QP и потребительским характеристикам SP, сформировать последовательность технологических стадий TS, оборудования EQ, определить диапазоны технологических режимов $[U_{j\min}; U_{j\max}]$ каждого из элементов технологической схемы при соблюдении ограничений по качеству материалов $QP_{j\min} \le Y_j \le QP_{j\max}$.

4) Сформировать технологическую карту TM процесса производства заданного полимерного изделия с учетом требований экологической безопасности.

5) Провести общую технико-экономическую оценку $EI = \{EI_1, \ldots, EI_{ei}\}$ жизненного цикла технического изделия с учетом анализа планово-экономической и маркетинговой деятельности полимерного производства, расчета проектной себестоимости и технико-экономических показателей продукции.

Таким образом, для ресурсосберегающего управления жизненным циклом процессов переработки вторичных полимерных материалов, с учетом требований профессиональных стандартов, в состав инжиниринговой команды включены следующие группы специалистов: специалисты для обеспечения производственного цикла переработки вторичных полимерных материалов, маркетинговой и технико-экономической оценки жизненного цикла, контроля и обеспечения безопасности производственной среды, а также автоматизированного управления производством с использованием цифровых технологий.

Формирование траектории обучения инжиниринговой команды в области вторичной переработки полимеров. Методология формирования траектории обучения инжиниринговой команды основана на запросах предприятия и анализе квалификационных дефицитов. На начальном этапе анализируется жизненный цикл технического изделия, и определяются участники инжиниринговой команды. По результатам анализа требований профессиональных стандартов формируется матрица квалификаций и общих компетенций, необходимых для реализации технологического кейса. Далее, для освоения необходимых трудовых функций (компетенций) разрабатываются соответствующие практико-ориентированные учебные модули [3]. Подготовка инжиниринговой команды осуществляется на базе единой гибкой цифровой платформы, включающей базы данных технологических регламентов, профессиональных стандартов, образовательных ресурсов, модуль формирования траекторий

обучения, модуль формирования паспорта полимерного изделия, интерфейсы пользователей. Ядром платформы являются тренажерные обучающие комплексы, позволяющие на основе математических моделей ключевых процессов проводить исследование причинно-следственных связей объекта изучения. Общая оценка практико-ориентированных результатов обучения проводится на основе анализа подготовленного отчета о результатах выполнения группового задания инжиниринговой командой. Этапы группового задания по синтезу полимерного изделия с уникальными свойствами выполняются последовательно, в соответствии с этапами жизненного цикла изделия (рисунок). Результатом обучения инжиниринговой команды является формирование паспорта полимерного изделия, включающего описание процесса подготовки сырья, оборудования, технологической оснастки и инструмента, диапазоны технологических режимов производства, требования к показателям качества изделия, требования экологической безопасности, а также технико-экологические показатели производства. Данные о новом полимерном изделии заносятся в базу данных для формирования библиотеки технологических регламентов. Использование предложенной методологии позволяет повысить профессиональный уровень специалистов в области решения сложной задачи перенастройки производства на новый вид продукции, задачи определения рецептуры композиционной смеси на основе вторичных полимерных материалов, а также задачи выбора технологических режимов оборудования для производства полимерного изделия с заданными требованиями по качеству и потребительским свойствам конечной продукции.

Заключение. Предложенная в докладе методология формирования инжиниринговых команд позволяет осуществлять подготовку специалистов для всего жизненного цикла вторичной переработки полимеров с учетом требований профессиональных стандартов, условий командного выполнения технологического проекта под общей целью получения из полимерных отходов уникального продукта, эффективно реализуемого на рынке.

Методология формирования инжиниринговых команд успешно апробирована на базе учебного центра «Полимер-экология» СПбГТИ(ТУ) при сотрудничестве с ООО «Завод по переработке пластмасс имени «Комсомольской правды» и поддержке Фонда инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО и Национального совета при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям. Предложенная методология может быть использована для создания, эксплуатации, развития и внедрения передовых производственных технологий и систем управления в области процессов переработки вторичных полимерных материалов и синтеза технических полимерных изделий на их основе. Таким образом, подготовка инжиниринговых команд с использованием технологий практико-ориентированного обучения позволяет повысить эффективность производств за счет внедрения инновационных производственных технологий и систем управления, повысить качество выпускаемой продукции, улучшить экологические характеристики, а, главное, повысить профессиональный уровень кадрового обеспечения промышленных предприятий в условиях цифровизации экономики и модернизации системы профессиональных стандартов и квалификаций.

Работа проводилась при финансовой поддержке Фонда инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО и Национального совета при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям по заказу ООО «Завод по переработке пластмасс имени «Комсомольской правды», договор №06/61/19/40(01УМ)19 от 04.042019

ЛИТЕРАТУРА

1. **Meshalkin V.P., Khodchenko S.M**. The nature and types of engineering of energy- and resource-efficient chemical process systems // Polymer Science. Series D. 2017. Т. 10. № 4. С. 347-352.
2. **Бурмистров А.Н., Козлова С.П., Калинина О.В**. Подготовка инженеров и комплексных команд для импортозамещения в Санкт-Петербурге: стратегия, опыт и возможности // В сб.: Неделя науки СПбПУ. 2015. С. 103-110.
3. **Chistyakova T.B., Kozlova S.P., Shlyago Yu.I., Novozhilova I.V**. Scientific and educational complex for resource-saving management of life cycle of processes and processing of secondary polymeric materials // XXI Mendellev Congress on General and Applied Chemistry. Book 3. Abstracts. Saint Petersburg, 2019. p. 197.

T.B. Chistyakova, I.V. Novozhilova, (Saint-Petersburg State Institute of Technology, St. Petersburg)
Methods and Technologies of Training Engineering Teams for Resource-saving Digital Control of Polymer Recycling Processes

The digitalization of industry in order to introduce new production management systems leads to the need for the training of qualified engineering personnel, which is especially important for enterprises of the polymer industry. The article discusses a methodology for integrated training of engineering teams in the field of resource-saving life cycle management of polymer recycling. The proposed methodology was tested on the basis of the training center “Polymer-ecology” of SPSIT in cooperation with LLC “Plastic processing plant named after “Komsomolskaya Pravda”, FIOP RUSNANO and Autonomous non-profit organization “National Agency for the Development of Qualifications”.

Е. Е. КОТОВА, А. С. ПИСАРЕВ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Проведение учебного процесса в дистанционном формате инициирует применение новых средств для организации учебного процесса и информационных ресурсов. Применение онтологий областей знаний является перспективным средством, позволяющим на основе объединения разнородных ресурсов (методических, учебных, информационных и др.) гибко настраивать среду обучения под конкретные учебные дисциплины в распределенной среде.

Представленная модель позволяет пользователям собирать и настраивать новые учебные онтологии из существующих в хранилище под конкретные учебные дисциплины. Сетевая веб-среда создания и редактирования онтологий реализована на базе сервера Ontomaster. Организована многофункциональная среда редактирования областей знаний с поддержкой сотрудничества между распределенными группами пользователей. Общедоступная библиотека онтологий хранит базу документов различных форматов, которые могут использоваться при создании онтологий. Предусмотрена адаптация индивидуальных траекторий и процесса обучения с учетом познавательных стилей и уровня знаний обучающихся.

Реализована архитектура программной среды для распределенной совместной онтологии, разработка и использование которой на основе протоколов семантического Web и интеллектуальных агентов, предназначена для обеспечения доступа растущего сообщества пользователей образовательного процесса.

Введение. Необходимость повышения продуктивности обучения студентов в дистанционном формате электронного обучения (ЭО) инициирует разработку и применение новых средств для организации учебного процесса и информационных ресурсов.

Одним из перспективных направлений развития модели ЭО (Learning 3.0) является разработка учебных онтологий, позволяющих обеспечить семантическую интеграцию, совместное создание и использование разнородных информационных ресурсов [1, 2]. Формальное онтологическое описание процедур учебного процесса представляет основу для реализации алгоритмов планирования и адаптации индивидуальных траекторий обучения студентов к изменениям образовательной среды, профессиональным требованиям работодателей, целям, уровню знаний и познавательным стилям обучающихся [3].

В настоящее время в международных организациях разрабатываются онтологии образовательного процесса, описывающие организационные структуры, роли участников, курсы, модули, теоретические и практические учебные ресурсы. Например, онтологии структуры академического учреждения (Academic Institution Internal Structure Ontology, AIISO) (vocab.org/aiiso), Participation (purl.org/vocab/participation/schema), FOAF (xmlns.com/foaf), AIISO-Roles (purl .org /vocab /aiiso-roles /schema). Онтология Метакадемия (Metacademy) представляет взаимосвязанную сеть концепций, каждая из которых снабжена кратким описанием, набором целей обучения, оценкой времени изучения пререквизитов необходимых знаний с указателями на учебные ресурсы (metacademy.org). В качестве одного из этапов разработки онтологий рассматривается использование концептуальных карт (Conceptual Map, CM) и интеллект-карт (Mind Map), как средств организации ключевых концепций в структуре представления знаний, связанных семантическими отношениями [4–7].

Несмотря на значительные теоретические и практические успехи в развитии онтологического подхода, вопросы создания интегрированных онтологий учебного процесса исследованы еще недостаточно. Предлагаемый доклад посвящен решению задачи разработки многоуровневой онтологии для формализации процедур учебного процесса.

Многоуровневая онтология учебного процесса. Разработанный подход к созданию онтологии учебного процесса отличается интеграцией трех уровней структуры, что потребовало разделения прав пользователей на создание, редактирование, просмотр и

применение (методистами, администраторами, преподавателями, студентами и другими пользователями).

На верхнем уровне онтологии представлены семантически связанные требования к организации учебного процесса, определяемые стандартами, учебными планами, рабочими программами дисциплин, расписаниями и др. На среднем уровне представлены онтологии учебных дисциплин, интегрированные с электронными учебными информационными материалами и системами дистанционного обучения. На нижнем уровне обучающимся предоставляется возможность исследовать и формировать учебные онтологии, персональные онтологические базы знаний с организацией консультационной и методической поддержки по анализу семантических связей и адаптивному планированию последовательности процессов получения знаний (например, во время самостоятельной работы).

Информация, представленная в онтологии на уровне индивидуальных учебных планов, отражает «дисциплины по выбору» студентов для более углубленного изучения в направлении специализации, выполнения научно-исследовательской работы, подготовки курсовых работ и выпускной квалификационной работы.

Онтология нижнего уровня представляет расширяемую персональную базу знаний студента. Планирование индивидуальной траектории обучения студента на этом уровне осуществляется с учетом текущего уровня знания пререквизитов, необходимых при реализации процессов освоения новых областей знаний – понятий, терминов, их определений, связей и отношений. Студентам предоставляется возможность выбора информационных ресурсов из расширенного банка гиперссылок на основные источники информации и дополнительные ресурсы по выбору. В зависимости от персональных когнитивно-стилевых особенностей и предпочтений студент выбирает ресурсы для изучения, которые предоставляются в доступной форме и различной модальности: книги, учебные пособия, электронные учебники, курсы дистанционного обучения, видеоматериалы и др.

Для инструментальной поддержки процессов обучения студентов разработан сетевой программный комплекс ОнтоМАСТЕР-Онтология [8]. При создании многопользовательской Web-среды обучения использован многоагентный подход, который предусматривает масштабирование в условиях изменения числа пользователей, изменение сценариев работы, активное взаимодействие с пользователями с использованием системы уведомлений и обработки запросов к онтологическим базам знаний. На рисунке изображен фрагмент онтологии специальности «Информационные системы и технологии» (ИСТ), соответствующий результатам поискового запроса по ключевому слову «управление».

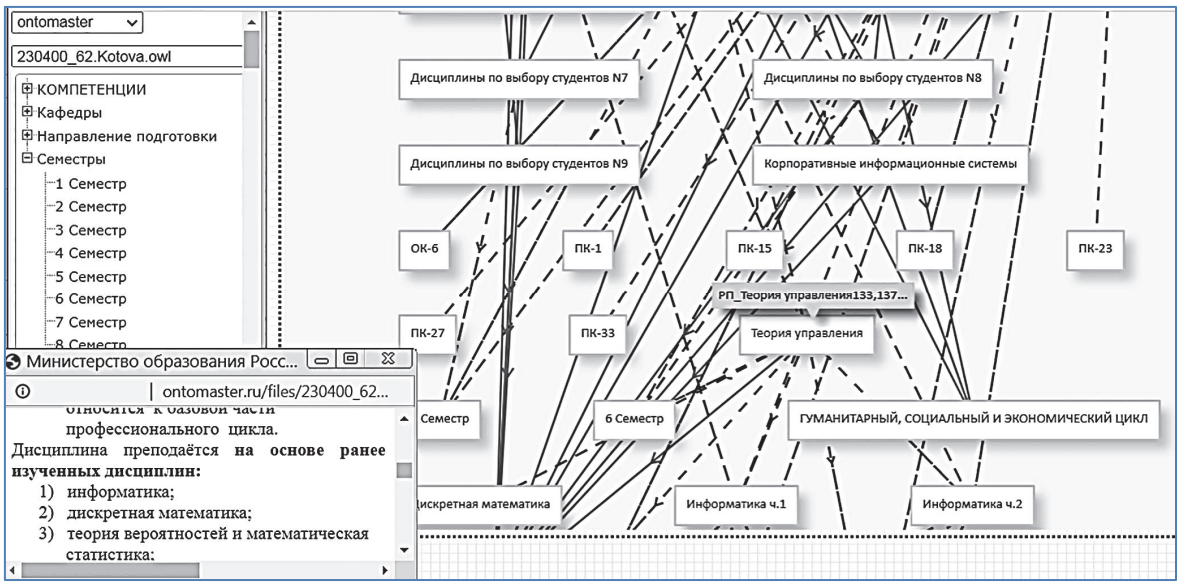


Рисунок. Фрагмент онтологии специальности

В структуре отображаются элементы, актуализирующие представление процесса обучения, семантически связанного с понятием «управление». В левой части диаграммы используется визуализация онтологии в виде дерева с навигацией по нескольким категориям процесса

обучения: направление подготовки, формируемые компетенции, пространственно-временные ограничения, структурная организация, название дисциплины и др.

Разработанный авторами сетевой программный комплекс ОнтоМАСТЕР прошел апробацию при разработке многоуровневых онтологий процессов обучения студентов по направлениям «Информационные системы и технологии» (ИСТ) и «Информационные технологии в управлении» (ИТУ) на кафедре автоматики и процессов управления в СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Заключение. В докладе представлен подход к формализации процедур учебного процесса с применением многоуровневых онтологий в условиях ЭО. Преподавателям и методистам предоставляется возможность гибко структурировать учебные материалы преподаваемых дисциплин. У студентов имеется возможность выбора информационных ресурсов с целью адаптации персональных программ обучения. В зависимости от персональных когнитивно-стилевых особенностей, уровня знаний и предпочтений студент может выбрать индивидуальные ресурсы с обеспечением консультационной и методической поддержки.

Интеллектуальная поддержка процессов обучения осуществляется средствами разработанного сетевого программного комплекса ОнтоМАСТЕР. При создании многопользовательской среды использован многоагентный подход, позволяющий осуществлять масштабирование в условиях изменения числа пользователей, изменение сценариев работы, активное взаимодействие с пользователями с использованием системы уведомлений и обработки запросов к онтологическим базам знаний.

Дальнейшие исследования планируется продолжить в направлении разработки методов и программ автоматизированного создания онтологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Sein-Echaluce M.L., Fidalgo-Blanco Á., Esteban-Escaño J.** Technological ecosystems and ontologies for an educational model based on Web 3.0 // Universal Access in the Information Society. 2019. Vol. 18. No. 3. Pp. 645-658.
2. **Michie S., West R., Hastings J.** Creating ontological definitions for use in science // Qeios. 2019. Pp.1-10.
3. **Anderson J.Q.** Individualisation of higher education: How technological evolution can revolutionize opportunities for teaching and learning // International social science journal. 2013. Vol. 64. No. 214. Pp. 305-316.
4. **Buzan T.** Buzan Study Skills Handbook: The Shortcut to Success in Your Studies with Mind Mapping, Speed Reading and Winning Memory Techniques (Mind Set). BBC Lifestyle. 2006. 189 p.
5. **Starr R.R., De Oliveira J. M. P.** Concept maps as the first step in an ontology construction method // Information systems. 2013. vol. 38. No. 5. Pp. 771-783.
6. **Гаврилова Т.А., Страхович Э.В.** Визуально-аналитическое мышление и интеллект-карты в онтологическом инжиниринге // Онтология проектирования. 2020. Т. 10. №. 1. С. 87-99.
7. **Qi Z., Sugumaran V.** Ontology development through concept map and text analytics: the case of automotive safety ontology // International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems. Springer, Cham. 2018. Pp. 155-166.
8. **Писарев И.А., Котова Е.Е., Писарев А.С., Сташ Н.В.** Проектирование базовых онтологий для подготовки кадров в междисциплинарных областях знаний. // Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. 2018. Т. 1. С. 154-157.

E.E. Kotova, A.S. Pisarev, Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint Petersburg

Formalization of Educational Process Procedures based on Ontological Approaches

The implementation of the educational process in a distance format initiates the use of new tools for organizing the educational process and information resources. The use of ontologies of knowledge domains is a promising tool that allows, on the basis of combining heterogeneous resources (methodological, educational, informational, etc.), to flexibly customize the learning environment for specific academic disciplines in a distributed environment.

The presented model allows users to collect and customize new educational ontologies from the existing ones in the repository for specific academic disciplines. The network web environment for creating and editing ontologies is implemented on the basis of the OntoMASTER server. Users are presented with a multifunctional knowledge domain editing environment with support for collaboration between distributed user groups. The publicly available ontology library stores a database of documents of various formats that can be used by users when creating ontologies. The adaptation of individual trajectories and the learning process, taking into account the cognitive styles and level of knowledge of the students, is provided.

The architecture of a software environment for a distributed collaborative ontology has been implemented, the development and use of which based on the semantic Web protocols and intelligent agents is designed to provide access to a growing community of users of the educational process.

К. АТТО
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ ОБУЧЕНИЯ

В рамках предыдущих исследований, связанных с использованием CRM и интеллектуальных агентов в системах управления обучением, была предложена оптимальная модель коммуникации в интеллектуальной среде обучения, которая позволяет улучшить качество образовательного процесса с точки зрения своевременного реагирования и полноты ответов в соответствии с запросами учащихся на персональные рекомендации относительно развития траекторий обучения. В продолжение разработки модели предполагается формализовать набор задач, которые могут быть эффективно решены с помощью алгоритмов анализа данных, перечислить источники анализируемой информации и ожидаемые результаты.

Введение. Рост числа обучающихся и усиление конкуренции на рынке высшего образования вынуждает университеты использовать более сложные инструменты для повышения качества обучения. К сожалению, многие из них используются исключительно с целью доставки учебного материала до пользователя, но недостаточно вовлечены в сбор и обработку обратной связи от пользователя. Помимо непосредственной передачи знаний, LMS (learning management system, система управления обучением) следует использовать для автоматизации процесса оценки успеваемости обучающегося, результаты которой будут использованы в двух направлениях: выдача рекомендаций для корректировки траектории обучения, а также корректировки самих обучающих материалов. В ходе предыдущего исследования [1] по данной тематике была предложена оптимальная модель коммуникации в интеллектуальной среде обучения, также проведено ее моделирование с целью подтверждения эффективности ее использования как ассистента обучающегося. Предлагаемый доклад посвящен поиску и детализации описания алгоритмов анализа данных, которые могут быть использованы в рамках предложенной ранее модели коммуникации.

Общая задача анализа данных в электронной среде обучения заключается в том, чтобы определить связь между подходом студента к получению образовательной информации и результатами его тестирования с двумя целями [2]:

1. Оценка пригодности доступных студентам учебных материалов.
2. Выдача рекомендаций обучающимся.

На рис. 1 приведена оптимальная модель коммуникации в интеллектуальной среде. На ней показаны каналы взаимодействия между участниками образовательного процесса, системой управления обучением, а также базовые внутренние процессы самой системы. Красным цветом отмечены процессы и подсистемы, связанные с получением образовательных материалов, зеленым – непосредственно с тестированием.

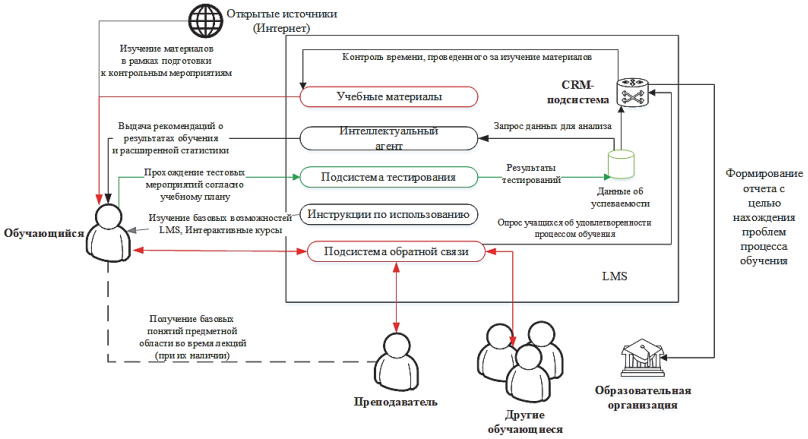


Рис 1. Оптимальная модель коммуникации в интеллектуальной среде

Перейдем к описанию процесса оценки пригодности пособий, доступных в рамках LMS. Перечислим основные каналы получения образовательного материала:

1. Материалы, доступные в LMS.
2. Общение на профильных разделах форума с преподавателями и другими студентами.
3. Самостоятельный поиск материалов в Интернете.
4. Общение с преподавателем в ходе лекций.

Очевидно, что активность через источники 3 и 4 не может быть отслежена силами LMS, поэтому она не будет учитываться в рамках непрерывного анализа, но будут участвовать в опросах учащихся по итогам семестра. Наиболее приоритетным источником является первый, поскольку, как было сказано ранее, одна из целей анализа – усовершенствование доступных материалов. Источник 2 учитывается как побочный, с целью изучения активности конкретного студента: как «общей», т. е. количества сообщений, активных тем, так и «полезной» – сообщений, отмеченных другими пользователями/модератором статусами «полезное» или «правильный ответ».

Для оценки того, насколько полезным для студента в рамках определенного курса (раздела курса) был учебный материал, введем показатель его «результативности» P

$$P(t) = \frac{t \times a}{q_{\Sigma}}, \tag{1}$$

где: t – время, потраченное на изучение материала, a – количество правильных ответов, q – количество вопросов.

Для получения более точных результатов требуется выполнить следующие условия:

1. Материалы предварительно разделены на группы по дисциплинам (может выполняться как с помощью ручного назначения категорий, так и при помощи алгоритмов классификации с использованием словарей ключевых слов).
2. Из оценок удалены очевидные промахи, для нивелирования влияния «случайного открытия» материалов вводится минимальный период сессии, во время которой материал открыт, и студент с ним взаимодействует (выполняется навигация по содержимому), который учитывается при анализе.
3. Тесты составлены так, что количество вопросов по теме соответствует количеству учебных часов, отведенных на нее в рабочей программе.

Очевидно, что улучшение списка материалов должно проводиться после составления рейтинга имеющихся, т. е. требуется выполнить их классификацию. Предлагается ввести три класса материалов относительно степени их пригодности: «не требующие доработки», «возможно требующие доработки», «точно требующие доработки» Входными данными для классификатора является признаковое описание – набор характеристик, учитываемых в показателе P. В силу того, что достаточно трудно формализовать показатели и описание «плохого» и «хорошего» учебного материала, оптимальным выглядит использование алгоритма вероятностной классификации.

В основе большинства вероятностных методов классификации лежит использование байесовского подхода [3]. Рассмотрим, как в рамках него производится задание классификатора. Процедурой классификации называется отображение $\delta(X)$: $\Pi \rightarrow \{\omega_1, \ldots, \omega_k\}$, где Π – пространство наблюдений, k – количество классов. Введем показатель C, который описывает общие потери при классификации Π.

$$C = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{k} c(j \mid i) \cdot m(j \mid i) \tag{2}$$

где $m(j|i)$ – число объектов из класса i, отнесенных к классу j, $c(j|i)$ – потери, которые повлечет отнесение одного объекта i-го класса к классу j ($c_{ij} = 0$ при $i = j$).

Процедура классификации называется оптимальной (байесовской), если она сопровождается минимальными потерями C среди всех других процедур классификации. Для классифицируемого объекта вычисляются функции правдоподобия каждого из классов, по ним вычисляются апостериорные вероятности классов. Объект относится к тому классу, для которого апостериорная вероятность максимальна. Для более точной классификации предлагается ввести дополнительные ограничения:

- использовать критический порог принадлежности, например, 0.7, который будет говорить об однозначной классификации элемента в выбранное множество, остальные должны

или оцениваться вручную или сравниваться с результатами работы дополнительного классификатора;

- использовать медианный подход для уменьшения количества граничных случаев: производить несколько прогонов классификатора с незначительно отличающимися целевыми показателями.

В связи с этим, в качестве первоначального алгоритма предлагается воспользоваться наивным байесовским классификатором, поскольку он обеспечивает хорошие результаты на малом числе данных и прост, значит имеет скорость выполнения, достаточную, чтобы обеспечить приемлемые временные затраты при медианном подходе.

После того, как завершена задача классификации учебных материалов по степени их полезности, можно переходить к выдаче рекомендаций студентам. Поскольку классификация результата студентов производится по одному показателю – результату тестирования, а рекомендуемые материалы сгруппированы заранее, то можно говорить о том, что данные хорошо структурированы, и воспользоваться деревом принятия решений.

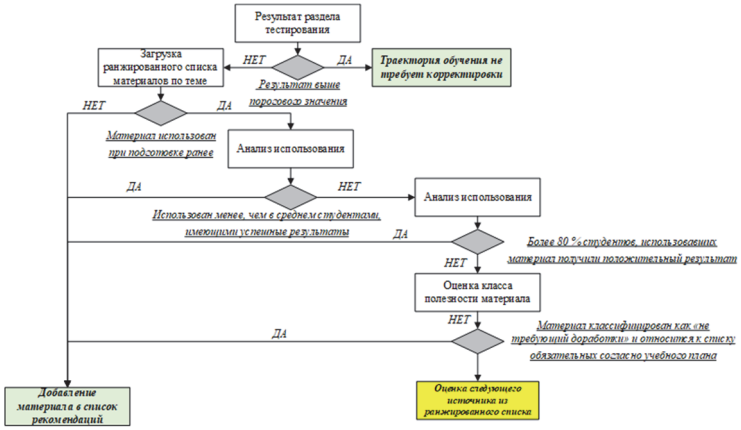


Рис 2. Дерево принятия решения формирования списка рекомендаций обучающегося

Заключение. Использование анализа данных образовательного процесса полезно для всех участников: образовательная организация повышает эффективность передачи знаний, а значит свою конкурентоспособность, студенты получают услугу более высокого качества, которая использует персонализированный подход. Препятствием, которое отсрочивает более широкое использование таких технологий на практике является высокая затратность первоначального запуска, поскольку требуются как модернизация информационных систем, так и повсеместная стандартизация образовательных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Атто К., Котова Е.Е.** Управление коммуникативными стратегиями в электронной среде обучения // Материалы III Международной научной конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2019), Санкт-Петербург, с. 184–187. DOI: 10.1109/CTS48763.2019.8973279
2. **B. Juarez Santiago, J.M. Olivares Ramirez, J. Rodriguez-Resendiz, A. Dector, R. Garcia, J. Gonzalez-Duran Fermin, F. Sanchez,** Learning Management System-Based Evaluation to Determine Academic Efficiency Performance, Sustainability Journal, 2020, vol. 12(4256), DOI: 10.3390/su12104256
3. **Васильев В.Г., Кривенко М.П.** Методы автоматизированной обработки текстов, М: ИПИ РАН, 2008, 305 с.

K. Atto (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint-Petersburg)

Adaptation of Data Analysis Algorithms for Use in the Intellectual Learning Environment

In the framework of previous studies related to the use of CRM and intelligent agents in learning management systems, an optimal communication model in an intelligent learning environment was proposed. It allows improving the quality of the educational process in terms of responses' time and completeness in accordance with students' requests for personal recommendations regarding the development of learning trajectories. In the continuation of the development of the model, it is supposed to formalize a set of tasks that can be effectively solved using data analysis algorithms, describe the sources of the analyzed information and the expected results.

Д. П. ПЛАХОТНИКОВ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

В настоящее время аналитические платформы применяются повсеместно от производства до бизнеса. Но их так же можно применить для анализа образовательного процесса. Используя массив образовательной информации, такой как оценки и посещаемость, можно провести анализ и на основе него понять эффективность, успеваемость и другие показатели образовательного процесса. Так же можно представить множественную количественную информацию в визуальную, что улучшит скорость восприятия и понимания состояния образовательного процесса.

Введение. Во время образовательного процесса генерируется большое количество числовых данных о нём – оценки за выполненные работы, посещаемость и иная информация. Если анализировать данную информацию в разрезе одного обучающегося или группы проблем обычно не возникает – можно легко дать качественную оценку процесса обучения. Но при сравнении разных групп или разных обучающихся может возникнуть ряд проблем. Во-первых, преподаватель может сравнивать субъективно, принимая во внимание свои личные взгляды, свою эмоциональную оценку на конкретного учащегося или группу. Во-вторых, если нужно сравнить показатели успеваемости, например, всего факультета или всего учебного заведения, то возникает вопрос – по каким показателям делать сравнение и с помощью каких информационно-технических средств. Способу решения данных проблем посвящена данная статья.

Инструменты анализа данных. Чаще всего из автоматизированных систем обработки данных для хранения и анализа сведений об образовательном процессе служит Microsoft Excel. Однако данный инструмент требует значительных затрат времени для анализа информации. Помимо этого, присутствующие в нём визуализации недостаточно информативны.

На сегодняшний день существуют более профессиональные, но в тоже время простые средства обработки информации – это аналитические платформы BI (Business Intelligence). Данные платформы представляют собой сложное сочетание данных и аналитики.

Применение их в образовательном процессе обеспечивает целый ряд преимуществ, по сравнению с более привычными аналитическими инструментами. Такими преимуществами являются большая наглядность, расширенные аналитические возможности (например такие, как прогнозирование данных, выявление отклонений и т.д.), масштабируемость (написанное приложение для одной группы может быть использовано для других групп), быстрая скорость получения отчётности (при добавлении новых данных, нет необходимости изменять визуальные элементы).

Анализ существующих аналитических платформ. Согласно серии отчётов о рыночных исследованиях исследовательской и консультационной компании Gartner, лидерами платформ анализа данных являются три вендора, таких как Qlik, Microsoft и Tableau [1]. Из продуктов данных лидеров для демонстрации применения аналитической платформы в образовательном процессе был выбран продукт Qlik Sense компании Qlik. В нём присутствует возможность строить интерактивные графики, диаграмма, показатели эффективности и другие визуальные элементы на основе данных из различных источников [2].

Загрузка данных в аналитическую платформу. Источниками данных могут служить как базы данных (в том числе и многомерные), так и плоские файлы или таблицы Excel. Для загрузки данных в аналитическую платформу необходимо написать специальный скрипт загрузки данных [3]. Его язык описан в документации к приложению.

Визуальные возможности платформы. В самой платформе есть различное множество визуальных элементов для анализа данных, таких как ключевой показатель эффективности, круговая диаграмма, сводная таблица, график распределения, гистограмма, каскадная диаграмма и многие другие.

Разработка демонстрационного приложения. Для демонстрации возможностей применения аналитической платформы в образовательном процессе было разработано аналитическое приложение. В качестве исходных данных была создана таблица с двумя листами содержащая данные соответственно двух групп – идентификатор студента и его итоговая оценка. Пример части листа представлен в таблице.

Таблица

Пример исходных данных для приложения

Идентификатор студента	Итоговая оценка
…	…
КиД	5
КиВ	5
КоИ	4
…	…

Скрипт загрузки данных в демонстративном приложении состоит всего лишь из 14 строчек и является достаточно простым даже для тех, кто не знаком с программированием. Он представлен на рис. 1.

```
[Группа]:
LOAD
    1 as group,
    [Идентификатор студента],
    Num([Итоговая оценка]) as [Итог]
 FROM [lib://AF/Сравнение.xlsx]
(ooxml, embedded labels, table is [Группа 1]);

[Группа 2]:
LOAD
    2 as group,
    [Код студента],
    Num([Итоговая оценка]) as [Итог]
 FROM [lib://AF/Сравнение.xlsx]
(ooxml, embedded labels, table is [Группа 2]);
```

Рис. 1. Скрипт загрузки данных демонстрационного приложения

После загрузки данных необходимо добавить необходимые визуальные элементы на лист приложения. Для подсчёта каких-либо значений в них используется специальный язык платформы Set Analysis. Так, к примеру, для подсчёта количества отличников, используется следующая формула: «Count({$<[Итог]={"5"}>} [Код студента])», а для подсчёта среднего балла первой группы: «Avg({$<group={'1'}>} Итог)».

Интерфейс демонстрационного приложения показан на рис. 2. Он служит для сравнения успеваемости двух различных групп, а также их просмотра их совместных показателей. В левой части листа представлен средний балл 1 группы, в таблице ниже – оценки 1 группы. В правой части листа аналогичные данные по 2 группе. В центре листа – круговая диаграмма успеваемости, выше которой график средних оценок и два показателя – количество отличников и количество неуспевающих.

Так же стоит сказать, что при изменении исходных данных, приложение не нужно пересоздавать, достаточно лишь повторно загрузить данные.

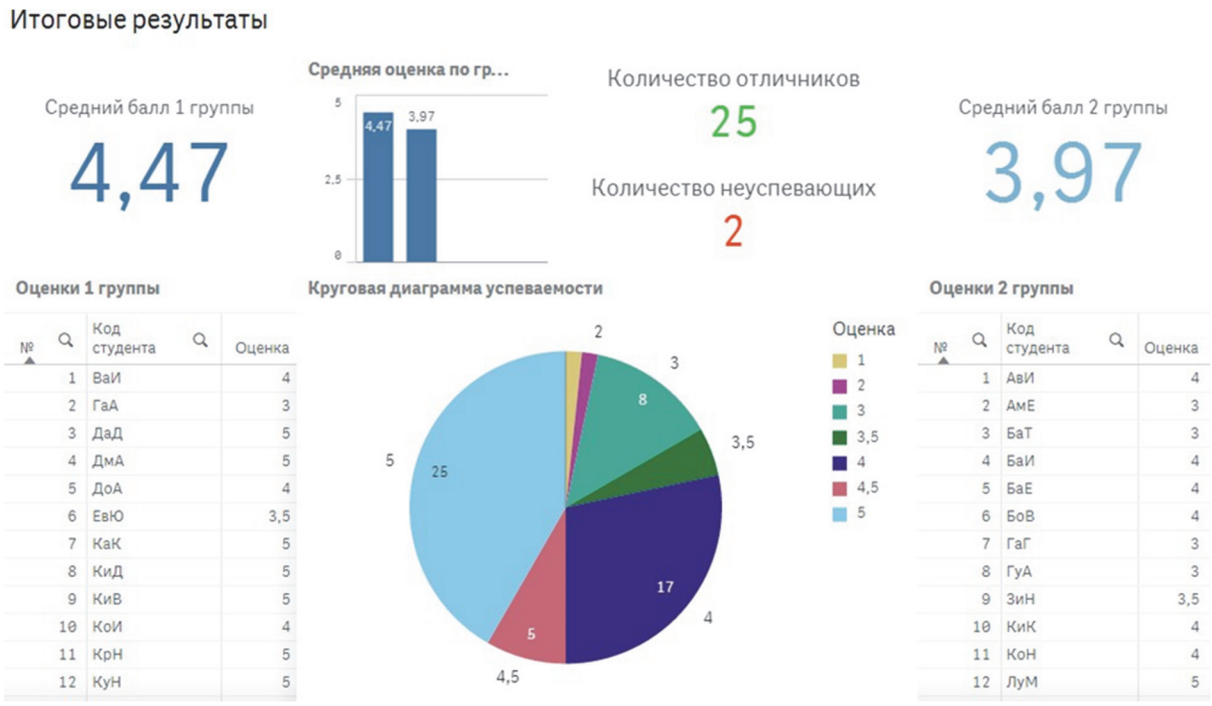


Рис. 2. Интерфейс демонстрационного приложения

Заключение. В данном докладе был рассмотрен вопрос применения аналитической платформы в образовательном процессе, а также представлены последовательные шаги разработки демонстрационного приложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. 2020 Gartner Magic Quadrant for analytics and business intelligence platforms // Sisense. URL: https://www.sisense.com/gartner-magic-quadrant-business-intelligence/ (дата обращения: 15.05.2020).
2. Qlik Sense // BIconsult. URL: https://biconsult.ru/products/qlik-sense (дата обращения: 15.05.2020).
3. **Плахотников Д.П**. Аналитика больших данных на базе платформы Qlik Sense[Текст] / Д.П. Плахотников // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Информация как двигатель научного прогресса» (Волгоград, 25.01.2019 г.). Уфа: Аэтерна, 2019. С. 34–36.

D.P. Plakhotnikov, (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint-Petersburg)

The Use of an Analytical Platform in the Educational Process

Analytics platforms are now used everywhere from manufacturing to business. But they can also be used to analyze the educational process. By using an array of educational information, such as grades and attendance, analysis can be made to understand the effectiveness, performance, and other indicators of the educational process. It is also possible to present multiple quantitative information into visual, which will improve the speed of perception and understanding of the state of the educational process.

В. П. ЗОЛОТАРЕВИЧ, Н. С. ПОТЕМИНА, Е. Н. КЛИМОВА
Университет ИТМО, АО «Концерн «Электроприбор», Санкт-Петербург

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Анализируется опыт создания и использования при реализации учебных программ онлайн курса «Методы обработки навигационной и измерительной информации» на платформе «Открытое образование». Проведена систематизация опыта организации учебного процесса в дистанционном формате после введения ограничений в связи с распространением новой коронавирусной инфекции «COVID-19».

Введение. В последнее время при реализации учебных программ высших учебных заведений, курсов повышения квалификации специалистов активно внедряются дистанционные технологии обучения [1]. Особенно использование дистанционных технологий стало актуальным в результате введения ограничений, связанных с реализацией мер по предотвращению распространения коронавирусной инфекции нового вида COVID-19.

Среди широко распространенных средств дистанционного обучения можно выделить два: массовые онлайн курсы и видеоконференции. В работе сделана попытка на основе имеющегося опыта проанализировать основные преимущества и недостатки этих двух инструментов.

Массовые онлайн курсы. В 2018 году в Университете ИТМО под руководством профессора О. А. Степанова был разработан онлайн курс «Методы обработки навигационной информации» для отечественной платформы «Открытое образование» [2]. Для разработки онлайн курса была создана специальная группа из 10 человек, каждый член которой выполнял определенную часть работы. Несмотря на огромную помощь технических специалистов Университета ИТМО, потребовались серьезные усилия творческого коллектива авторов в части создания содержательного наполнения курса, записи видеолекций, разработки контрольных тестов и практических заданий.

Практическое использование онлайн курса было реализовано в двух форматах. В первом формате, курс запускается раз в полгода на платформе «Открытое образование» для всех желающих. Слушатели курса изучают его содержимое в течение 10 недель. Имеются определенные временные рамки, в пределах которых должны быть выполнены контрольные задания. Второй вариант применения онлайн курса предполагал использование возможностей администрирования курса для отслеживания успеваемости определенных групп слушателей, для которых параллельно с курсом проводились очные занятия с преподавателем. В последнем случае был реализован, так называемый, смешанный принцип образования.

Анализ результатов апробации онлайн курса, полученных в течение 2 лет [3], показал его востребованность в странах СНГ и ближнего зарубежья, что можно считать удачным для курса узкоспециализированной тематики. Использование смешанного принципа имеет ряд преимуществ для студентов и преподавателя. Для студентов это – доступность материалов, самоконтроль, возможность получить обратную связь от создателей курса. Для преподавателя – упрощение подготовки к лекциям, возможность сосредоточится на более сложных темах курса, контроль за успеваемостью студентов во время семестра.

При планировании внедрения онлайн курсов в учебный процесс существенным моментом является возможность его использования в качестве базового для других более специализированных дисциплин учебного плана. Это особенно важно в случае подготовки специалистов инженерных специальностей.

Видеоконференцсвязь и дистанционное обучение. Развитие сетевых технологий и глобальной сети интернет сделало возможным внедрение видеоконференцсвязи в корпоративную среду: онлайн встречи, презентации новых продуктов компании, консультации клиентов и т. д. Нашли применение эти технологии и в образовательной деятельности. В связи со сложившейся эпидемиологической обстановкой в стане многое вузы были вынуждены использовать дистанционные технологии в образовательном процессе. Функциональность доступная в современных системах видеоконференцсвязи (передача изображения и звука, демонстрация экрана компьютера лектора, обмен сообщениями и файлами) позволили активно

их применять для удаленного чтения лекций, проведения практических занятий и итоговой аттестации.

Главным преимуществом видеоконференцсвязи для обучающегося является возможность изучения материалов лекций без необходимости личного присутствия в стенах образовательного учреждения. Для преподавателя использование видеоконференцсвязи оказалось настоящим вызовом. Сложность подготовки материалов для каждой лекции, необходимость освоения новых технических устройств. В ходе опроса преподавателей, которые участвовали в чтении лекций на различных платформах видеоконференцсвязи, были выявлены следующие трудности и проблемы:

- отслеживание присутствия студентов на занятиях;
- утомляемость и падение внимания студентов, что приводит к фактическом сокращению реального времени занятия;
- организация лабораторных работ;
- увеличение доли самостоятельной работы студентов.

Многие преподаватели также отмечали, что при дистанционном формате обучения необходимо постоянно быть доступным и отвечать на вопросы студентов практически в режиме 24/7. С другой стороны, для студентов это является скорее преимуществом дистанционного обучения.

Следует отметить, что указанные недостатки в большей степени применимы к традиционным видам учебных занятий: лекции, практические занятия, лабораторные работы. В случае внедрения более современных способов организации учебного процесса, таких как, совместное проектирование, коллоквиумы, дискуссии и т.п. использование современных средств видеоконференций является целесообразным и оправданным.

Заключение. Внедрение и применение дистанционных технологий при подготовке специалистов технических специальностей является сложной задачей в настоящее время. Разработка массовых онлайн курсов будет являться необходимостью в ближайшее время для многих руководителей образовательных программ и заведующих кафедрами вузов. Наиболее актуальным, кажется, создание онлайн курсов по базовым предметам, которые являются основой для преподавания более специализированных дисциплин.

Использование видеоконференцсвязи является наиболее целесообразным в случае необходимости: пандемия, преподавания для лиц с ограниченными возможностями и т. п. Видеоконференцсвязь более адаптирована к новым формам проведения занятий: организация совместной работы студентов, коллоквиумы, работа над проектами и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Золотаревич В.П., Лямин А.В., Литвиненко Ю.А., Степанов О.А.** Открытое образование. Опыт участия Университета ИТМО. М.: Издательский дом «Медпрактика-М», Сборник трудов XXVI международной научно-технической конференции. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); Московский технологический университет “МИРЭА». 2017. С. 8–11.
2. **Степанов О.А., Золотаревич В.П., Моторин А.В., Литвиненко Ю.А.** [Электронный ресурс] Онлайн-курс «Методы обработки навигационной измерительной информации» – Режим доступа: https://openedu.ru/course/ITMOUniversity/MEAINF/#
3. **Короткова Д.В., Золотаревич В.П.** Выпускная квалификационная работа «Анализ учебного контента онлайн-курса». СПб: Университет ИТМО, 2020.

V.P. Zolotarevich, N.S. Potemina, E.N. Klimova (ITMO University, Concern CSRI Elektropribor, St. Petersburg)

The Use Distance Learning in Training of Engineering

The experience of creating and using the online course “Methods of processing navigation and measuring information” on the platform “Open Education” is analyzed. The experience of organizing the educational process in a distance format after the introduction of restrictions due to the spread of the new coronavirus infection “COVID-19” was systematized.

В. В. ЗАХАРОВ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург

ПЛАНИРОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УНАСЛЕДОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В докладе предложена постановка многокритериальной задачи планирования функционирования производственного предприятия и процессов модернизации унаследованной информационной системы, которая свелась к задаче оптимизации на комплексе логико-динамических моделей.

Введение. Объектом исследования в докладе является унаследованная информационная система (УИС), которая относится к классу сложных технических система (СТС). Подобные интегрированные в производственный процесс аналитико-информационные комплексы мониторинга и синтеза управляющих программ требуют постоянного своевременного обновления и обслуживания. Функционирование подсистем УИС, особенно тех, которые включены в критически важные для предприятия бизнесы процессы, должно быть подвергнуты комплексному моделированию и всестороннему анализу [1].

Отметим, что в связи с возросшей скоростью разработки, внедрения и обновления информационных технологий, мы можем говорить, что какое-либо разделение жизненного цикла изделий, в т. ч. и СТС, на стадии становится весьма условно. В процессе эксплуатации систем необходимо постоянно разрабатывать не только рациональный план работ на определенном этапе, а одновременно и комплексно управлять всеми структурами СТС. Таким образом, сегодня необходимо проактивно вырабатывать набор упреждающих управляющих воздействий, которые переводят систему в заданное состояние. В контексте проведения модернизации и обновления элементов УИС, необходимо непрерывно и обоснованно отвечать на ряд вопросов: «что и когда модернизировать?»; «в какие сроки?»; «в какой последовательности производить работы?»; «как составить план, учитывающий связь функционирования УИС с бизнес-процессами предприятия?» [2].

Традиционно проблемы управления модернизацией информационных систем относят к классу задач структурно-функционального синтеза облика СТС. Современная скорость развития информационно-вычислительных ресурсов и советующего программного обеспечения требует разработки программно-математического обеспечения, которое позволит динамически управлять процессом функционирования и модернизации СТС. Доклад посвящен разработке технологий проактивного комплексного (совместного) планирования производственных программ и процессов модернизации (в т. ч. обслуживания) УИС [3].

Основная часть. Произведем содержательную постановку задачи. Необходимо найти такую допустимую программу управления модернизацией УИС и производственную программу предприятия, в рамках которой будут своевременно и полностью выполнены все операции, входящие в соответствующие технологические циклы, а обобщенный показатель качества функционирования предприятия снижался бы минимально.

Особенностью предлагаемого в докладе подхода является использование логико-динамического описания предметной области. Это позволяет производить декомпозицию исходной большеразмерной задачи на ряд частных моделей, описывающих СТС на всех стратах с разным уровнем детализации (в т. ч. временном) процессов функционирования [4].

Логико-динамическая модель совместного планирования модернизации УИС и функционирования производственного предприятия. Для формальной постановки задачи совместного планирования программ производства и процессов модернизации УИС, представленной в данном докладе в виде многофункциональных стоек управления, введем необходимые множества.

Пусть $\tilde{A} = \{\tilde{A}_i, i \in \tilde{N}\}$ множество технологических операций, выполняемых на предприятии. Допустим, что в цеху установлены унифицированные средства производства. Введем обобщенное множество связанных производственных единиц (многофункциональных станков) $B = \left\{B_j, j \in M = \tilde{N} \bigcup \tilde{M} = \{1,...,S_i\}\right\}$ и множество выпускаемых изделий $D^{(i)} = \left\{D_i^{(i)}, i \in \Phi\right\}$, $\Phi = \{1,...,s_i\}$. Представим динамическую модель производственного процесса.

$$
\begin{gathered}
M_o = \left\{ \mathbf{u}^{(o)}(t) \mid \dot{x}_{ij}^{(o,1)} = \sum_{j=1}^{S_i} r_{ij}(t) \cdot u_{ij}^{(o,1)};\ x_{ij}^{(o)}(t_0) = 0, \right. \\
x_{ij}^{(o)}(t_f) = a_{ij}^{(o)}, \\
\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{s_i} u_{ij}^{(o,1)} \le P_j^{(o,1)}, \\
\sum_{j=1}^{S_i} \sum_{i=1}^{m} u_{ij}^{(o,1)} \le P_i^{(o,2)}, \quad u_{ij}^{(o,1)}(t) \in \{0,1\}, \\
u_{ij}^{(o,1)} \left[\sum_{\tilde{\alpha} \in \Gamma_{i\gamma 1}} (a_{i\tilde{\alpha}}^{(o,1)} - x_{i\tilde{\alpha}}^{(o,1)}) + \sum_{k \in \Gamma_{i\gamma 3}} (a_{i\kappa}^{(u,1)} - x_{i\kappa}^{(u,1)}) + \prod_{\tilde{\beta} \in \Gamma_{i\gamma 2}} (a_{i\tilde{\beta}}^{(o,1)} - x_{i\tilde{\beta}}^{(o,2)}) \right] = 0, \\
\left. i = 1,...,m;\ j = 1,...,s_i \right\},
\end{gathered}
\tag{1}
$$

где $x_{ij}^{(o,1)}$ – переменная, характеризующая количество выпущенных изделий $D_i^{(o,1)}$; $a_i^{(o,1)}, a_{i\tilde{\alpha}}^{(o)}, a_{i\tilde{\beta}}^{(o)}$ – заданное количество единиц продукции $D_i^{(o,1)}, D_{\tilde{\alpha}}^{(o,1)}, D_{\tilde{\beta}}^{(o,1)}$; $u_{ij}^{(o,1)}(t)$, – интенсивность обработки изделия на A_j станке. $\Gamma_{ij1}, \Gamma_{ij2}$ − множества номеров производственных операций, непосредственно предшествующих и технологически связанных с производством $D_i^{(o,1)}$ с помощью логических операций «И», «ИЛИ» соответственно; $P_j^{(o,1)}, P_i^{(o,2)}$ – заданные константы, характеризующие технические ограничения, связанные с функционированием производства (цеха) в целом и конкретного оборудования; $r_{ij}(t)$ – известная матричная временная функция, с помощью которой задаются пространственно-временные ограничения, связанные с производственным процессом, данная функции принимает значение 1, если операцию возможно выполнить; 0 – в противоположном случае.

Логико-динамическая модель управления модернизацией УИС. Введём множество информационных процессов, связанных с соответствующими производственными единицами: $\tilde{B} = \{\tilde{B}_i, i \in \tilde{M}\}$. Также введем обобщенное множество универсальных управляющих стоек $V = \left\{ B_l, l, i, j \in M = \tilde{N} \bigcup \tilde{M} = \{1,...,m\} \right\}$ и множество операций по их модернизации, входящих в соответствующий технологический цикл $M^{(i)} = \left\{ D_\gamma^{(i)}, \gamma \in \Phi \right\}$, $\Phi = \{1,...,s_i\}$.

$$
\begin{gathered}
M_u = \left\{ u^{(u)}(t) \mid \dot{x}_{ij}^{(u,1)} = \sum_{j=1}^{v} m_{ij}(t) \cdot u_{ij}^{(u,1)};\ x_{ij}^{(u,1)}(t_0) = 0, \right. \\
x_{ij}^{(u,1)}(t_f) = a_{ij}^{(u,1)}, \\
\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{v} u_{ij}^{(u,1)} \le R_j^{(u,1)}, \\
\sum_{j=1}^{v} \sum_{i=1}^{n} u_{ij}^{(u,1)} \le R_i^{(u,2)},\ u_{ij}^{(u,1)}(t) \in \{0,1\}, \\
u_{ij}^{(u,1)} \left[\sum_{\tilde{\alpha} \in \Gamma_{i\gamma 1}} (a_{i\tilde{\alpha}}^{(o,1)} - x_{i\tilde{\alpha}}^{(o,1)}) + \sum_{k \in \Gamma_{i\gamma 3}} (a_{i\kappa}^{(u,1)} - x_{i\kappa}^{(u,1)}) \right] = 0, \\
\left. i = 1,...,n;\ j = 1,...,v \right\},
\end{gathered}
\tag{2}
$$

где $x_{i\gamma}^{(u)}$ – переменная, характеризующая количество выполненных операций модернизации стоек управления $M_j^{(u,1)}$; $a_j^{(u,1)}, a_{ik}^{(u,1)}$ – заданные объёмы выполнения операций модернизации $D_j^{(u,1)}$, $D_k^{(u,1)}$; $u_{ij}^{(u,1)}(t)$ – интенсивность выполнения операций по модернизации стойки управления $M_j^{(u,1)}$; Γ_{ik3} – множества номеров операций модернизации стоек, непосредственно предшествующих и технологически связанных с операцией $D_j^{(u,1)}$ с помощью логических операции «И»; $R_j^{(u,1)}, R_i^{(u,2)}$ – заданные константы, характеризующие технические ограничения, связанных с проведение процесса модернизации стоек управления; $m_{ij}(t)$ – известная матричная временная функция, с помощью которой задаются пространственно-временные ограничения, связанные с процессом модернизации частей УИС. Данная функция принимает значение 1, если в данный промежуток времени работы по модернизации могут быть произведены; 0 – в противоположном случае [5].

Показатели качества планирования функционирования производственного предприятия. Оценивание качества программного управления процессов функционирования предприятия и модернизации стоек управления возможно с помощью различных целевых функций [6]. Представим некоторые из них:

$$J_1^{(o)} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{s_i}[a_{ij}^{(o,1)} - x_{ij}^{(o,1)}(t_f)]^2, \tag{3}$$

$$J_2^{(o)} = \sum_{j=1}^{m}\int_{t_0}^{t_f}\eta_{ij}(\tau)u_{ij}^{(o,1)}(\tau)d\tau, \tag{4}$$

$$J_3^{(u)} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{v}\left[T^{(u,1)} - x_{ij}^{(u,1)}(t_f)\right]^2, \tag{5}$$

$$J_4^{(u)} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{\gamma=1}^{v}[a_{ij}^{(u,1)} - x_{ij}^{(u,1)}(t_f)]^2, \tag{6}$$

где J_1 вводится в том случае, если необходимо оценить полноту выполнения требуемого объема производственных операций, входящих в технологический циклы производства. J_2 – показатель, оценивающий величину суммарного штрафа за невыполнение заданных директивных сроков выполнения производственных операций. $\eta_{i\gamma}(\tau)$ – известные монотонные функции времени, которые выбираются с учетом заданных директивных сроков начала (конца) выполнения производственных операций. Показатель J_3 вводится для оценки равномерности проведения модернизации УИС. Показатель J_4 вводится для оценивания полноты выполнения требуемого объема операций по модернизации УИС (обновления программного обеспечения управляющих стоек), входящих в технологический цикл модернизации.

Представленная в работе совместная логико-динамическая постановка задачи модернизации УИС и функционирования предприятия позволяет в процессе синтеза структурно-функционального облика системы в каждый момент времени опираться на фундаментальные научные результаты, полученные в современной теории управления структурной динамикой СТС [3].

Заключение. Уникальность разработанного полимодельного комплекса состоит в том, что на модельно-алгоритмическом уровне удалось описать с единых позиций процессы модернизации информационно-управляющих элементов СТС (стойки управления) и производственные процессы предприятия. Страты связаны с помощью ограничений, которые позволяют динамически определять и формировать технологию выполнения соответствующих работ [2]. К примеру, этап модернизации стоек управления не может начаться до тех пор, пока не буду выполнены полностью необходимые производственные операции. Обработка (выпуск) изделий на

соответствующих производственных мощностях не может начаться до того, как будет завершен технологических цикл модернизации стоек.

«Безболезненная» поддержка и обновление УИС возможна только в случае синтеза согласованных программ производства и модернизации. Подобный подход дает возможность лицам, принимающим решения, рационально определять временные промежутки для проведения комплексов соответствующих работ. Полученные рациональные (оптимальные) планы позволяют оптимизировать и обоснованно распределять нагрузку на производственные и информационно-управляющие подсистемы.

Представленный полимодельный комплекс может быть дополнен рядом моделей, описывающих процесс передачи информации между управляющими стойками и станками. Дополнительно возможно произвести описание изменений, которое вносит модернизация в УИС и как те или иные этапы влияют на процессы функционирования СТС в целом.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№№ 17-29-07073-офи-м, 18-07-01272, 18-08-01505, 19–08–00989, 20-08-01046), в рамках бюджетной темы №№0073–2019–0004

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бир С**. Мозг фирмы. М.: Едиториал УРСС, 2005.
2. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Юсупов Р.М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
3. **Охтилев М.Ю., Мустафин Н. Г., Миллер В. Е., Соколов Б. В**. Концепция проактивного управления сложными объектами: теоретические и технологические основы // Приборостроение. 2014. №11.
4. **Дилоу-Рагиня Э.Э., Колпин М.А., Григорьев К.Л., Соколов Б.В.** Полимодельное описание процесса модернизации унаследованной информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода // Приборостроение. 2010. №11
5. **Захаров В.В.** Динамическая интерпретация формального описания и решения задачи модернизации сложных объектов // Приборостроение. 2019. №10.
6. **Павлов А.Н., Захаров В.В.** Модельно-алгоритмическое обеспечение планирования модернизации судостроительных производств // Пятая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2019). М. Изд-во Перо, 2019, с.133-137. ISBN 978-5-00150-311-8.

V.V. Zakharov, SPC RAS, Saint-Petersburg

Planning of Modernization and Functioning of Legacy Information System

The report proposes a multicriterial high-dimensional problem of a functioning production enterprise planning and processes of the legacy information system modernization, which is reduced to the problem of optimization on a complex of logical-dynamical models.

В. Ф. МОЧАЛОВ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМКИ

Представлено обобщенное описание комплексной модели процесса оценивания состояния растительности, и приведен пример реализации автоматизированной обработки материалов мультиспектральной космической съёмки с использованием данной модели. Рассматриваются операции сбора исходных данных, идентификации и оценивания состояния элементов ландшафта. При этом моделирование основано на обобщенной технологии учёта развивающейся ситуации при её управленческой интерпретации.

Введение. Оценивание состояния растительности на основе обработки материалов мультиспектральной аэрокосмической съёмки является одним из важных направлений регулярного информационного обеспечения пространственными данными органов управления различного уровня для принятия обоснованных управленческих решений. Осуществление процесса оценивания состояния растительности в автоматизированном режиме предусматривает последовательное выполнение операций идентификации элементов ландшафта и дальнейшего определения их свойств, имеющих практическую значимость при решении актуальных прикладных задач. Операции идентификации и оценивания элементов ландшафта при использовании в качестве входных данных материалы мультиспектральной съёмки предполагают наличие спектрально-яркостных формализованных признаков, которые, в свою очередь, формируются в рамках выполнения операции сбора исходных данных. Признаки для выполнения указанных выше операций разрабатываются на основе анализа спектрально-яркостных отражательных и излучательных характеристик элементов ландшафта с учетом видового состава, состояния и фенологических фаз развития растительности в условиях метеорологической изменчивости [1]. Таким образом, с точки зрения системного анализа и моделирования сложных систем процесс оценивания состояния растительности предполагает моделирование и выполнение упорядоченной совокупности операций сбора исходных данных, идентификации элементов ландшафта и оценивания их состояния. При этом проблемными вопросами становятся системное представление в модели выполняемых операций в рамках конкретной предметной области и дальнейшая интерпретация различных аспектов как моделируемого процесса, так самой модели. Предлагаемый доклад посвящен вопросам анализа процесса оценивания состояния растительности на основе моделирования операций обработки материалов мультиспектральной съемки.

Обобщенное описание модели. Для идентификации и оценивания состояния растительности привлекаются материалы аэрокосмической съёмки, имеющие энергетическую калибровку и пространственную привязку не менее чем в десяти спектральных каналах видимого и ближнего инфракрасного диапазонов спектра. С учетом состояния атмосферы определяется коэффициент спектральной яркости (КСЯ) для каждого элемента ландшафта (растительности), который является основной физической величиной, зависящей от вида и состояния растительности. Вместе с тем измеряемая физическая величина в общем случае не зависит от наименования съёмочной аппаратуры, включая аппаратуру для наземных измерений. В рамках операции сбора исходных данных выбираются опорные объекты (участки) с известными характеристиками растительных сообществ. На основе анализа коэффициентов спектральной яркости формируются спектрально-яркостные признаки, которые применяются при автоматизированном выполнении операций идентификации и оценивания свойств элементов ландшафта на всей контролируемой территории. Таким образом, основной задачей является разработка модели процесса оценивания естественного объекта с учетом описания взаимодействия объекта-модели, объекта-оригинала в условиях постоянно развивающейся во времени ситуации [2]. При этом в качестве объекта-оригинала предлагается принимать территории опорных объектов с известными характеристиками растительных сообществ и измеренными отражательными и излучательными характеристиками, а в качестве объекта-модели – территорию участка местности, на которой осуществляется оценивание

состояния растительности. Исходя из принятых допущений, цель моделируемого процесса будет состоять в минимизации субъектом (экспертом) «невязки», возникающей между объектом-оригиналом (опорным объектом) и объектом-моделью (участком местности с оцениваемой растительностью) в ходе естественного развития или в условиях антропогенного воздействия путем постоянной адаптации модели под изменения, происходящие как в объекте-оригинале, так и в среде. Например, субъект вправе изменять перечень оцениваемых показателей, как для объекта-оригинала, так и для объекта-модели или корректировать методики, алгоритмы идентификации и оценивания состояния растительных сообществ и/или привлекаемые признаки. При этом обеспечивается периодическое максимально полное оценивание состояние растительности на выбранном участке (объекте-модели) с учетом их допустимого отклонения от опорных данных на объекте-оригинале.

В докладе проведена адаптация обобщенной технологии системного моделирования [2] в части формализованного описания субъект-объектной модели процесса моделирования применительно к исследуемой предметной области (рис. 1). Адаптация процесса моделирования проведена в направлении уточнения понятий объекта-оригинала и объекта-модели для каждой операций в рамках рассматриваемого процесса.

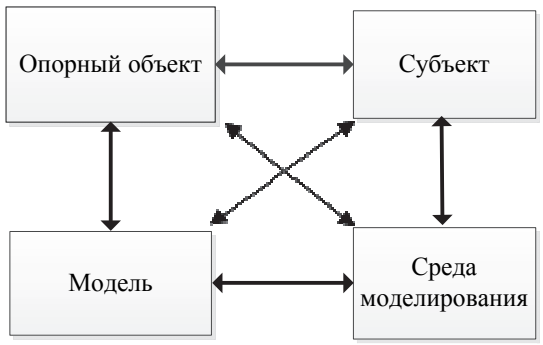


Рис.1. Формализованная субъект-объектная модель процесса моделирования

В таблице представлено описание элементов объекта-оригинала (опорного объекта), объекта-модели, среды моделирования и решений субъекта при выполнении операций формирования исходных данных, идентификации и оценивания состояния растительности. При моделировании применялась управленческая интерпретация развивающейся непрерывно ситуации оценивания состояния растительности [2].

Таблица

Характеристики основных элементов субъектно-объектной модели

Условное наименование операции	Модель	Опорный объект	Субъект	Среда моделирования
Сбор исходных данных	Измеряемое множество КСЯ растительных сообществ в контролируемых состояниях и внешних условиях	Известное множество КСЯ известных видов растительных сообществ в известном состоянии в контролируемых условиях	Перечень опорных и моделируемых объектов для идентификации растительных сообществ и оцениваемых характеристик	Метеоусловия, фенологическая фаза развития растений, вид и уровень антропогенного воздействия
Идентификация видов растительных сообществ	Идентифицируемый вид растительного сообщества	Известный вид растительного сообщества	Перечень опорных и моделируемых объектов, признаки идентификации, алгоритмы, методы	Метеоусловия, фенологическая фаза развития растений, вид и уровень воздействия
Оценивание состояния растительных сообществ	Результаты оценивания состояния растительного сообщества	Известное состояние растительного сообщества	Перечень опорных и моделируемых объектов, признаки оценивания, алгоритмы, методы	Метеоусловия, фенологическая фаза развития растений, вид и уровень антропогенного воздействия

Пример реализации. Моделирование рассматриваемого процесса применялось при сборе исходных данных и идентификации видов растительных сообществ тундры (рис. 2) [3]. В ходе наземных обследований были выбраны опорные объекты и проведены измерения КСЯ известных видов растительных сообществ.

а) б) в)

Рис. 2. Операции сбора исходных данных и идентификации видов растительных сообществ тундры: а) – опорные объекты, цифрами в контурах обозначены известные виды растительных сообществ; б) – сбор исходных данных, измерение коэффициентов спектральной яркости известных видов растительных сообществ; в) – результат автоматизированной идентификации выбранных видов растительных сообществ по материалам мультиспектральной космической съёмки с учетом сформированных признаков

Операция оценивания состояния растительности тундры осуществляется аналогично. При этом в качестве основного вида неблагоприятного воздействия может рассматриваться активный (контролируемый на опорных участках) выпас северных оленей. Практическая значимость предложенного подхода заключается в возможности регулярного систематического повторного оценивания состояния растительности с учетом повышения эффективности моделирования.

Заключение. Представлен подход моделирования и примеры практической реализации процесса оценивания состояния растительности при выполнении ключевых операций, принятых в технологии обработки материалов мультиспектральной аэрокосмической съёмки. Системное моделируемых рассматриваемых операций позволит не только обеспечить регулярное эффективное оценивание состояния различных видов растительных сообществ, но и сосредоточить должное внимание совершенствованию операций сбора исходных данных, идентификации и оценивания состояния элементов ландшафта. Перспективным является возможность обоснованного учета показателей ресурсоемкости, оперативности и результативности моделирования рассматриваемого процесса и составляющих его операций.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке в рамках бюджетной темы №№0073–2019–0004 и проекта «Инновационные информационные технологии для анализа негативного воздействия на леса приграничного региона (KS1309 InnoForestView)» Программы приграничного сотрудничества «Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014–2020».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шовенгердт Р.А.** Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.:Техносфера, 2010. 560 с.
2. **Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН, 2018. 314 с.
3. **Mochalov V., Grigorieva O., Zelentsov V., Markov A., Ivanets M.** Intelligent Technologies and Methods of Tundra Vegetation Properties Detection Using Satellite Multispectral Imagery In: Advances in Intelligent Systems and Computing. ISSN 2194-5357, 234-243, Springer (2019)

V.F. Mochalov (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

Simulation of the Vegetation State Assessment Process on the Basis of Processing Materials of Multispectral Surveys

A generalized description of a complex model of the vegetation state assessing process is presented, and an example of the implementation of automated processing of multispectral space imagery materials using this model is given. Operations of collection of initial data, identification and assessment of the state of landscape elements are considered. At the same time, modeling is based on a generalized technology taking into account the developing situation in its managerial interpretation.

В. А. УШАКОВ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ДИНАМИКОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В докладе рассматривается разработка динамической модели приема/передачи/обработки информации. Предложено на основе данных, полученных из разрабатываемой динамической модели, строить области достижимости. Области достижимости будут считаться в пространстве системотехнических параметров, которое формируется не на основе физических законов, а логикой обработки данных. Отмечено, что разрабатываемую динамическую модель можно модифицировать и представить в виде динамической модели процесса модернизации/планирования/функционирования.

Введение. В докладе представлены результаты исследований, связанных с разработкой методов и алгоритмов оперативного многокритериального оценивания и анализа показателей качества автоматизированной системы управления подвижными объектами на основе построения областей достижимости [1, 2]. Проблема определения и оценивания областей достижимости, является одной из фундаментальных проблем теории оптимального управления сложными техническими объектами [3]. Использование традиционных методов для оценки показателей качества систем управления сложными техническими объектами сталкивается с серьезными трудностями, обусловленными большой размерностью пространства состояний системы, многоцелевым характером ее функционирования, сложностью системы ограничений на управления, существенной нелинейностью элементов системы. Поэтому для решения задачи основного исследования предлагается применить оригинальный подход, основанный на использовании областей достижимости для оценки показателей качества систем управления подобными объектами и использовать в качестве информационной основы области достижимости, формируемые в пространстве значимых системотехнических показателей. То есть, в рамках данного научного исследования, выполняется попытка уйти от логико-динамического описания сложных объектов к многомерному геометрическому описанию; отвлечься от природы, от функциональных пространств, от кусочно-непрерывных управлений. Так как, выполняя работу с многомерными геометрическими образами, за которыми стоят управленческие процессы, а также выполняя замену управленческих процессов, протекающих во времени на области, которые во времени не изменяются, то мы получаем совершенно новое и уникальное решение задачи, стоящей перед нами. Используя многомерную геометрию, теорию проектных операторов, решаются те задачи, которые теория оптимального управления решить не смогла бы, так как в ней нет соответствующего математического аппарата. Но очевидным плюсом математики является то, что она работаем в разных пространствах, и уходя из основного пространства в сопряженное пространство можно решать те же самые задачи, но совершенно оригинальным способом. Предлагаемый доклад посвящен получению исходных данных для решения основной задачи (построения областей достижимости в пространстве системотехнических параметров).

Содержательная постановка задачи. Рассмотрим самый простой космический пример. Вращается низкоорбитальный спутник вокруг Земли и спутники-ретрансляторы, которые находятся на орбите 36000 км. Спутники-ретрансляторы являются подвижными объектами, выполняющие информационный обмен между подсистемами автоматизированной системы управления и низкоорбитальными спутниками. Так как данная система находится в движении (процессы изменяются во времени), то необходимо разработать динамическую модель. Каждый спутник может решать пять основных задач:

- принимать информацию;
- передавать информацию во внешнюю среду;
- передавать информацию на другой спутник;
- обрабатывать информацию на самом спутнике;
- хранить информацию на самом спутнике.

Необходимо организовать процесс функционирования системы, чтобы за отведенное время получить максимальное количество информации (минимизировать потерю информации) при этом минимизировать время обработки информации.

Таким образом, в данном докладе решается задача планирования процесса приема/передачи/обработки/хранения/потери информации.

Будем считать на начальном этапе, что следующие параметры известны:

- объем информации, который необходимо передать;
- объем информации, который необходимо обработать;
- объем информации, который необходимо хранить.

В дальнейшем данные параметры будут вычисляться для каждого случая. Также, будем считать, что отсутствует требование операции прерывания, то есть операция прерывания происходит мгновенно (идеальный случай).

По условию задачи имеются следующие ограничения:

- ограничения пропускной способности при передаче информации по каждому из каналов связи;
- ограничения пропускной способности при организации вычислений;
- ограничения пропускной способности по объему хранимой информации.

Разработка динамической модели. За основу динамической модели приема/передачи/обработки информации был взят полимодельный комплекс из [4]. Некоторые константы для динамической модели уже рассчитаны в [5, 6], поэтому возьмем их оттуда.

В качестве программного обеспечения был выбран Mathworks Matlab, так как отлично подходит для проектирования и анализа систем и работы с вычислительной математикой, а встроенная графика обеспечивает визуализацию и лучшее понимание данных. Кроме того, Matlab содержит предопределенные функции в Optimization Toolbox для решения задачи линейного программирования и задачи «о назначениях» (целочисленного программирования), которые используются в разрабатываемой динамической модели.

Основными параметрами разрабатываемой динамической модели, на основе которых определяются все величины, являются:

- объем информации;
- штрафные коэффициенты по директивным срокам;
- производительность по приему/передачи информации;
- производительность по обработке информации;
- директивные сроки.

Далее на основе данной модели построена динамическая модель процесса модернизации/планирования/функционирования для задачи управления развитием производственных объектов [7, 8]. Также в докладе показано, как данную модель можно использовать для построения и исследования областей достижимости, которые рассчитываются в пространстве системотехнических параметров.

Заключение. Выполнена разработка динамической модели приема/передачи/обработки информации для последующего построения областей достижимости на основе метода, предложенного в [9, 10] и с использованием Ganja.js [11].

*Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № **19-38-90221** и в рамках бюджетной темы № **0073–2019–0004***

ЛИТЕРАТУРА

1. **Черноусько Ф.Л.** Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов. М.: Наука, 1988. 320 с.
2. **Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н.** Введение в системный анализ / Под ред. Л.А. Петросяна. Л.: Издательство Ленинградского университета, 1988. 232 с.
3. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
4. **Москвин Б.В., Михайлов Е.П., Павлов А.Н., Соколов Б.В.** Комбинированные модели управления структурной динамикой сложных технических объектов // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 11.

5. **Павлов Д.А.** Методика планирования операций информационного взаимодействия кластера малых космических аппаратов дистанционного зондирования земли // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. № 649. С. 37–47.
6. **Мануйлов Ю.С., Павлов А.Н., Осипенко С.А., Павлов Д.А.** Сравнительный анализ результатов планирования комплекса операций информационного взаимодействия сложных объектов в динамически изменяющихся условиях // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. № 647. С. 30–36.
7. **Захаров В.В.** Управление развитием производственных объектов // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2019): Труды (Москва, 17-20 июня 2019 г.) / Под общ. ред. Д.А. Новикова. М.: ИПУ РАН – 2019. С. 3114-3119. DOI: 10.25728/vspu.2019.3114
8. **Захаров В.В.** Динамическая интерпретация формального описания и решения задачи модернизации сложных объектов // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 10. С. 914–920. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-10-914-920.
9. **Ушаков В.А.** Области достижимости и проектирующие операторы в задачах оптимального управления // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2019): Материалы конференции (Москва, 17-20 июня 2019 г.). М.: ИПУ РАН – 2019. С. 1037-1042. DOI: 10.25728/vspu.2019.1037.
10. **Ушаков В.А.** Подход к построению и аппроксимации областей достижимости на основе проективной геометрии // Технологическая перспектива в рамках Евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста: Труды 5-ой Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 07-08 ноября 2019 г.). / Под ред. проф. Кораблевой О.Н. СПб.: Издательство «Астерион» – 2019. С. 480–483.
11. **Keninck S., Wieser E., Song U., Hadfield H**.: enkimute/ganja.js, https://github.com/enkimute/ganja.js/tree/v1.0.167. DOI: 10.5281/zenodo.3635774

V.A. Ushakov (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

Development a Dynamic Model for Controlling the Structural Dynamics of an automated Control System for Moving Objects

The report discusses the development of a dynamic model for receiving/transmitting/processing information. It is proposed to build reachability areas on the basis of data obtained from the developed dynamic model. Reachability areas will be considered in the space of system-technical parameters, which is formed not on the basis of physical laws, but by the logic of data processing. It is noted that the developed dynamic model can be modified and presented as a dynamic model for the modernization/planning/operation process. Information on the development of a dynamic model for receiving/transmitting/processing information is given.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2020)

Государственный научный центр Российской Федерации АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
197046, С.-Петербург, ул. Малая Посадская, 30.
Тел. (812) 499-82-93, факс (812) 232 33 76,
e-mail: editor@eprib.ru
http://www. elektropribor.spb.ru