### О.А.СтепановОсновы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1. Введение в теорию оценивания

**УДК 621.391.14**
СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2009.- 496 с.

    **Цена - 370 руб.**

© ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2009
© О.А.Степанов, 2009

ISBN 978-5-900780-86-3.

Излагаются общие принципы и подходы, используемые при построении алгоритмов оценивания как в линейных, так и в нелинейных задачах. Значительное внимание уделяется обоснованию возможности синтеза наиболее распространенных стохастических алгоритмов оценивания на основе детерминированного подхода, не требующего привлечения понятий теории вероятностей. Анализируется взаимосвязь алгоритмов, получаемых в рамках рассматриваемых подходов при различном объеме априорной информации. Методы и алгоритмы, полученные для постоянного вектора, обобщаются применительно к оцениванию случайных последовательностей, наиболее важными из которых являются алгоритмы калмановского типа.
Предлагаемый материал поясняется на примерах и задачах методического характера, а также связанных с обработкой навигационной информации, в частности, применительно к задаче оценивания коэффициентов полинома, определения сдвига между реализациями, определения координат по точечным ориентирам и спутниковым данным, коррекции показаний навигационной системы с использованием внешних данных и комплексной обработки избыточных измерений.
Приводятся необходимые сведения из теории вероятностей и теории матричных исчислений, а также описание используемых разделов Matlab.
Материал книги четко структурирован, что существенно облегчает его изучение и возможность использования для формирования курсов лекций по отдельным разделам для слушателей с различным уровнем подготовки.
Книга адресована студентам старших курсов и аспирантам, специализирующимся в рассматриваемой области, а также инженерам и научным работникам, чьи интересы связаны с проблемами построения эффективных алгоритмов оценивания не только применительно к задачам обработки навигационной информации, но и в смежных областях, связанных с задачами обработки гидроакустической информации и траекторного слежения.

Библиогр.: 133 назв., 35 табл., 96 ил.

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Введение** | **9** |
| Условные сокращения | **14** |
| **Глава 1. Элементы теории вероятностей** | **15** |
| **1.1. Случайные величины и методы их описания** | **16** |
| 1.1.1. Определение случайной величины и ее описание | **17** |
| 1.1.2. Статистические характеристики случайных величин | **22** |
| 1.1.3. Гауссовские случайные величины и их характеристики | **26** |
| 1.1.4. Типы случайных величин | **31** |
| Задачи к разделу | **35** |
| Контрольные вопросы | **36** |
| **1.2. Случайные векторы и методы их описания** | **38** |
| 1.2.1. Определение случайного вектора и его описание | **-** |
| 1.2.2. Статистические характеристики случайных векторов | **39** |
| 1.2.3. Гауссовские случайные векторы и их характеристики | **42** |
| 1.2.4. Среднеквадратический эллипс ошибок, круговая вероятная ошибка. | **47** |
| Задачи к разделу | **50** |
| Контрольные вопросы | **53** |
| **1.3. Преобразование случайных величин и векторов** | **54** |
| 1.3.1. Функции случайных величин | **-** |
| 1.3.2. Функции случайных векторов | **59** |
| 1.3.3. Линейные преобразования случайных векторов | **64** |
| 1.3.4. Определение статистических свойств длины проекции случайного двухмерного вектора на заданное направление | **67** |
| 1.3.5. Ортогонализация случайных величин. Связь матрицы ковариаций и среднеквадратического эллипса | **71** |
| Задачи к разделу | **74** |
| Контрольные вопросы | **80** |
| **1.4. Условная плотность распределения вероятностей** | **81** |
| 1.4.1. Формулы Байеса. Условные математическое ожидание и матрица ковариаций | **-** |
| 1.4.2. Правила нахождения параметров условной гауссовской плотности | **83** |
| 1.4.3. Примеры нахождения параметров условной гауссовской плотности | **85** |
| 1.4.4. Задача регрессии | **90** |
| Задачи к разделу | **91** |
| Контрольные вопросы | **94** |
| **1.5. Моделирование случайных величин и векторов и вычисление их выборочных характеристик** | **95** |
| 15.1. Псевдослучайные последовательности, датчики случайных чисел | **-** |
| 1.5.2. Метод Монте-Карло | **96** |
| 1.5.3. Выборочные статистические характеристики | **97** |
| 1.5.4. Гистограмма | **99** |
| 1.5.5. Моделирование случайных величин в Matlab | **101** |
| Контрольные вопросы | **107** |
| **1.6. Задания для моделирования с использованием Matlab** | **-** |
| **Заключение к главе 1** | **109** |
| **Глава 2. Основы теории оценивания** | **110** |
| **2.1. Примеры и постановки задач оценивания постоянных параметров при обработке навигационной информации** | **112** |
| 2.1.1. Оценивание коэффициентов полинома | **-** |
| 2.1.2. Задача начальной выставки инерциальной навигационной системы. Простейший случай | **115** |
| 2.1.3. Постановка линейной задачи оценивания | **116** |
| 2.1.4. Определение относительного сдвига реализаций | **117** |
| 2.1.5. Определение координат по измерениям дальностей до точечных ориентиров | **120** |
| 2.1.6. Определение координат и скорости по спутниковым данным | **122** |
| 2.1.7. Постановка нелинейной задачи оценивания и ее линеаризация | **123** |
| 2.1.8. Задача комплексной обработки избыточных измерений | **127** |
| Задачи к разделу | **130** |
| Контрольные вопросы | **133** |
| **2.2. Решение задач оценивания на основе детермини¬рованного подхода. Метод наименьших квадратов** | **135** |
| 2.2.1. Основные положения и постановка задачи в методе наименьших квадратов | **-** |
| 2.2.2. Общее решение задачи синтеза алгоритмов на основе метода наименьших квадратов в линейном случае | **141** |
| 2.2.3. Анализ точности в методе наименьших квадратов в линейном случае | **145** |
| 2.2.4. Взаимосвязь и сопоставление различных алгоритмов метода наименьших квадратов в линейном случае. | **151** |
| 2.2.5. Решение нелинейных задач оценивания. Линеаризованные и итерационные алгоритмы. | **159** |
| 2.2.6. Особенности существенно нелинейных задач оценивания | **169** |
| Задачи к разделу | **174** |
| Контрольные вопросы | **182** |
| **2.3. Небайесовские алгоритмы оценивания** | **184** |
| 2.3.1. Основные положения и постановка задачи | **-** |
| 2.3.2. Метод максимума правдоподобия | **188** |
| 2.3.3. Общее решение линейной гауссовской задачи. Взаимосвязь с алгоритмами метода наименьших квадратов | **192** |
| 2.3.4. Решение нелинейной гауссовской задачи. Взаимосвязь с алгоритмами метода наименьших квадратов | **195** |
| Задачи к разделу | **198** |
| Контрольные вопросы | **203** |
| **2.4. Байесовский подход. Линейные оптимальные оценки.** | **205** |
| 2.4.1. Постановка задачи и ее общее решение | **-** |
| 2.4.2. Свойства линейных оптимальных оценок. | **210** |
| 2.4.3. Решение линейной задачи. Взаимосвязь с алгоритмами метода наименьших квадратов | **212** |
| 2.4.4. Решение нелинейной задачи | **216** |
| Задачи к разделу | **222** |
| Контрольные вопросы | **226** |
| **2.5. Байесовский подход. Оптимальные оценки** | **227** |
| 2.5.1. Постановка задачи и ее общее решение | **-** |
| 2.5.2. Свойства оптимальных оценок | **229** |
| 2.5.3. Решение линейной гауссовской задачи. Взаимосвязь с алгоритмами метода наименьших квадратов и максимума правдоподобия | **232** |
| 2.5.4. Методы синтеза субоптимальных алгоритмов калмановского типа для решения нелинейных задач | **237** |
| 2.5.5. Методы синтеза субоптимальных алгоритмов для решения существенно нелинейных задач | **243** |
| 2.5.6. Анализ эффективности субоптимальных алгоритмов | **249** |
| 2.5.7. Приближенные методы анализа потенциальной точности при решении нелинейных задач | **260** |
| 2.5.8. Повышение точности оценивания при использовании нелинейных алгоритмов | **267** |
| 2.5.9. Сопоставление байесовского и небайесовского подходов | **273** |
| Задачи к разделу | **276** |
| Контрольные вопросы | **281** |
| **2.6. Реализация алгоритмов комплексной обработки избыточных измерений** | **283** |
| 2.6.1. Инвариантная схема обработки | **-** |
| 2.6.2. Неинвариантная схема обработка | **286** |
| 2.6.3. Централизованная и децентрализованная схемы обработки | **289** |
| 2.6.4. Рекуррентная схема обработки | **292** |
| 2.6.5. Разностная схема обработки | **294** |
| Задачи к разделу | **303** |
| Контрольные вопросы | **311** |
| **2.7. Задания для моделирования с использованием Matlab** | **312** |
| **Заключение к главе 2** | **314** |
| **Глава 3. Основы теории фильтрации случайных последовательностей** | **316** |
| **3.1. Случайные последовательности** | **318** |
| 3.1.1. Определение случайной последовательности и ее описание | **-** |
| 3.1.2. Стационарные случайные последовательности. Дискретный белый шум | **321** |
| 3.1.3. Марковские последовательности | **324** |
| 3.1.4. Формирующий фильтр | **325** |
| 3.1.5. Динамика изменения матрицы ковариаций марковской последовательности | **331** |
| Задачи к разделу | **335** |
| Контрольные вопросы | **339** |
| **3.2. Оптимальные линейные алгоритмы фильтрации случайных последовательностей** | **340** |
| 3.2.1. Постановка и решение задачи нерекуррентного оптимального линейного оценивания случайных последовательностей | **-** |
| 3.2.2. Постановка задачи рекуррентной оптимальной линейной фильтрации случайных последовательностей | **346** |
| 3.2.3. Фильтр Калмана для случайных последовательностей | **348** |
| 3.2.4. Уравнения ошибок фильтра Калмана. Инновационная последовательность | **358** |
| 3.2.5. Динамика изменения матрицы ковариаций и установившийся режим в задаче фильтрации | **361** |
| 3.2.6. Наблюдаемость в задачах оценивания случайных последовательностей | **365** |
| 3.2.7. Модификации дискретного фильтра Калмана | **369** |
| Задачи к разделу | **371** |
| Контрольные вопросы | **374** |
| **3.3. Рекуррентные оптимальные байесовские алгоритмы фильтрации случайных последовательностей** | **376** |
| 3.3.1. Постановка и общее решение задачи рекуррентной оптимальной фильтрации случайных последовательностей | **-** |
| 3.3.2. Рекуррентное соотношение для апостериорной плотности в нелинейной задаче фильтрации | **379** |
| 3.3.3. Вывод соотношений для фильтра Калмана, свойства оптимальных оценок | **381** |
| 3.3.4. Методы синтеза рекуррентных субоптимальных алгоритмов решения нелинейных задач фильтрации | **387** |
| 3.3.5. Анализ эффективности субоптимальных алгоритмов решения нелинейных задач фильтрации случайных последовательностей | **394** |
| Задачи к разделу | **396** |
| Контрольные вопросы | **400** |
| **3.4. Задача сглаживания и алгоритм ее решения** | **401** |
| 3.4.1. Типы задач сглаживания | **-** |
| 3.4.2. Решения задачи сглаживания на закрепленном интервале | **402** |
| 3.4.3. Соотношение задач фильтрации и сглаживания | **407** |
| 3.4.4. Решение задач фильтрации и сглаживания на основе детерминированного подхода с использованием метода наименьших квадратов | **409** |
| Задачи к разделу | **413** |
| Контрольные вопросы | **415** |
| **3.5. Задачи фильтрация и сглаживания случайных последовательностей при комплексной обработке навигационных измерений** | **416** |
| 3.5.1. Задачи фильтрации при комплексной обработке показаний систем, непосредственно измеряющих искомые параметры | **-** |
| 3.5.2. Задачи фильтрации при коррекции показаний навигационной системы. Линеаризованный случай | **421** |
| 3.5.3. Задачи фильтрации при коррекции показаний навигационной системы. Нелинейный случай. | **427** |
| 3.5.4. Задачи фильтрации при комплексной обработке показаний инерциальных и спутниковых систем. | **430** |
| 3.5.5. Задачи фильтрации и сглаживания случайных последовательностей при комплексной обработке показаний гравиметра, данных о высоте и вертикальной скорости. | **438** |
| Задачи к разделу | **443** |
| Контрольные вопросы | **444** |
| **3.6. Задания для моделирования с использованием Matlab** | **-** |
| **Заключение к главе 3** | **447** |
| **Приложения** | **449** |
| П1. Матричные операции и их реализация в Matlab | **-** |
| П1.1. Основные матричные операции | **-** |
| П1.2. Матричные операции в Matlab | **462** |
| Контрольные задачи и вопросы | **468** |
| П2. Построение графиков в Matlab | **470** |
| П2.1. Элементарная графика Matlab | **-** |
| П2.2. Построение двухмерных графиков Matlab | **472** |
| **Заключение** | **474** |
| Литература | **477** |
| Предметный указатель | **485** |
| Английские термины | **495** |