### Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации  (Сборник докладов и статей)

УДК 621.396.988.6:629.19  
Под общей редакцией академика РАН   **В.Г.Пешехонова**  
Составитель: д.т.н. **О.А.Степанов**  
**СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ "Электроприбор", 2001. - 235 с.**

© ГНЦ РФ-ЦНИИ "Электроприбор", 2001.  
© Академия навигации и управления движением   
ISBN 5-900780-33-3.

   В сборнике освещаются проблемы теории и практики построения активно развивающихся в последнее время интегрированных инерциально-спутниковых систем навигации. Значительное внимание уделяется опыту, накопленному разработчиками в процессе отработки и использования таких систем при решении задач навигации применительно к объектам различного типа.   
    В сборник вошли 4 статьи, помещенные в журнале "Гироскопия и навигация", начиная в 1998 г., по 5 докладов российских и зарубежных авторов по аналогичной тематике, сделанные в тот же период на научно-технических конференциях памяти Н.Н.Острякова, Санкт-Петербургских международных конференциях по интегрированным навигационным системам и конференциях молодых ученых "Навигация и управление движением" и 2 статьи, подготовленные для сборника специально.   
    Сборник предназначен для широкого круга специалистов, работающих в области создания и применения инерциально-спутниковых систем, инженеров, преподавателей технических вузов, аспирантов и студентов.

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| Предисловие | 5 |
| **ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ** |  |
| УДК 621.396.988.6 **Г.Шенцер Высокоточная интегрированная навигационная система для подвижных объектов** | 10 |
| Исследуются возможности высокоточного определения координат подвижных объектов при использовании спутниковых навигационных систем в различных режимах их работы и данных от инерциальных датчиков. |  |
| УДК 621.396.988.7 **О.А.Степанов Особенности построения и перспективы развития навигационных инерциально-спутниковых систем** | 25 |
| Рассматриваются принципы построения и проводится сопоставительный анализ свойств инерциальных и спутниковых навигационных систем. Исследуются особенности интегрированных инерциально-спутниковых систем и анализируются различные варианты их построения, а также основные направления совершенствования. |  |
| УДК 621.396.988.6  **С.П.Дмитриев, О.А.Степанов, Д.А.Кошаев  Исследование способов комплексирования данных при построении инерциально-спутниковых систем** | 43 |
| Приводятся результаты сравнительного исследования различных вариантов построения алгоритмов комплексной обработки данных о координатах и скорости в интегрированных системах, предполагающих использование информации от инерциальных и спутниковых средств. |  |
| УДК 656.2  **О.Н.Анучин, Г.И.Емельянцев  О влиянии угловых колебаний объекта на точность и время выставки по курсу интегрированной системы ориентации и навигации** | 60 |
| Анализируется возможность оценки погрешностей бескарданных инерциальных измерительных модулей (БИИМ) по курсу на фоне систематических и случайных составляющих дрейфов гироскопов в условиях угловых колебаний объекта при модуляционных поворотах его измерительного блока (ИБ) от 0 до 360° в плоскости палубы и при установке ИБ БИИМ на значительном отстоянии от центра масс судна. |  |
| **С.П. Дмитриев, О.А. Степанов  Неинвариантные алгоритмы обработки информации инерциальных навигационных систем** | 67 |
| Рассматриваются неинвариантные алгоритмы обработки информации инерциально-спутниковых навигационных систем, позволяющие учесть динамические свойства объекта. Проводится их сопоставление с традиционной схемой комплексной обработки, основанной на использовании принципа инвариантности. Приводится результаты моделирования, подтверждающие эффективность использования предложенных алгоритмов в задаче стабилизации морского судна на траектории. |  |
| УДК.621.391.26  **М.С. Ярлыков, Н.Д. Пригонюк  Бортовая инерциально-спутниковая система для навигации и посадки самолетов** | 83 |
| На основе марковской теории оптимального оценивания случайных процессов синтезированы помехоустойчивые субоптимальные алгоритмы обработки сигналов в авиационной бортовой навигационно-посадочной системе (НПС). Система включает в свой состав бортовой интегрированный приемник сигналов спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS, инерциальную навигационную систему, радиовысотомер и баровысотомер. Выполнен анализ потенциальной точности НПС, использующей разработанные алгоритмы. |  |
| **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ** |  |
| УДК 621.396.988.6:629.19  **Э.ГАЙ  Наводящиеся снаряды с инерциальной навигационной системой на микромеханических датчиках, интегрированной с GPS** | 101 |
| Дается обзор микромеханических датчиков и системных программ Лаборатории им. Ч.С. Дрейпера - разработчика первой системы наведения ИНС/GPS для 5-дюймового оружия ВМФ США. |  |
| УДК 621.396.988.6:629.13  **Б. Каспар, Н. Дален  Демонстрация модуля наведения darpa, использующего информацию GPS, на самолете F/A-18 ВМФ США** | 110 |
| Приводятся результаты испытаний модуля наведения (МН) по данным глобальной позиционной системы GPS, полученные при демонстрационных полетах на самолете F/A-18 ВМФ США. Программа создания модуля наведения стимулировала технологию создания доступных, высокоэффективных, миниатюрных интегрированных устройств GPS/ИНС, которые будут обеспечивать широкий спектр применений. |  |
| УДК 621.396.988.6:629.12  **А.М.Тазьба, Ю.В. Леви, М.А.Ермолина  Структура интегрированных навигационных систем на базе бесплатформенных инерциальных систем средней точности** | 115 |
| Рассматривается возможность создания интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем для самолетов гражданской авиации (ГА) на основе инерциальных датчиков первичной информации (ДПИ) средней точности.     Показываются особенности построения и положительные результаты разработки подобных систем. Определяются проблемы дальнейшего углубления интегрированности инерциально-спутниковых навигационных систем с целью их совершенствования |  |
| УДК 531.383-11.621.378  **П.М. Поммеле, Д. Порталь, П. Ж. Клемансо  Totem 3000: новое поколение ИНС/GPS фирмы SEXTAN AVIONIQUE** | 127 |
| Обсуждается, как использование моноблочного трехосного кольцевого лазерного гироскопа PIXYZ фирмы SEXTANT Avionique (Франция) существенно упрощает проблему создания блока инерциальных датчиков дополнительно к теперь уже хорошо известным преимуществам самого датчика [1,2]. Сравниваются два типа архитектуры с точки зрения механической конструкции, а также обработки данных. Показывается применение PIXYZ в новой интегрированной системе TOTEM 3000 с ИНС фирмы SEXTANT Avionique и с встроенным приемником GPS.     Приводятся результаты испытаний на борту самолета "Мираж 2000". |  |
| УДК 621.396  **Б.А. Блажнов, Л.П. Несенюк, В.Г. Пешехонов, Л.П. Старосельцев  Миниатюрные интегрированные системы ориентации и навигации для гидрографических судов и катеров** | 134 |
| Представлены миниатюрные бесплатформенные инерциальные измерительные модули, разработанные в ЦНИИ "Электроприбор", и интегрированные инерциальные/спутниковые системы ориентации и навигации, построенные на их основе. Приведены результаты испытаний ряда гироскопов и акселерометров, из которого выбирались датчики для инерциальных измерительных модулей, а также результаты испытаний инерциальных измерительных модулей и интегрированных систем на испытательных стендах, на автомобиле и на судах. |  |
| УДК 621.396.988.6:629.13  **Б. Лич  Недорогие бесплатформенные инерциальные навигационные системы, интегрированные с GPS, для проведения летных испытаний** | 144 |
| Анализируется опыт разработки недорогой бесплатформенной инерциальной системы на основе инерциального измерительного модуля (ИИМ), интегрированного с дифференциальной GPS (DGPS), с применением методов калмановской фильтрации и сглаживания в схеме с обратной связью. Показана возможность использования измерений ИИМ/DGPS для точного воспроизведения инерциальных данных о траектории движения самолета в режиме камеральной обработки за счет решения задачи сглаживания. |  |
| УДК 629.7.054.072.1  **Е.Г. Харин, А.Ф. Якушев, В.А. Копелович  Эталонные определения траектории движения летательного аппарата на основе оптимальной комплексной обработки информации инерциальной и спутниковой навигационных систем** | 162 |
| Алгоритмы оптимальной комплексной обработки информации для анализа характеристик навигационных комплексов и систем, прежде всего инерциальных, были разработаны в ЛИИ им. М.М.Громова и применялись на протяжении последних 30 лет. Эти алгоритмы легли в основу программно-математического обеспечения систем получения эталонных значений параметров траекторного движения летательных аппаратов по материалам летных испытаний. В 1993-2000 гг. разработаны и внедрены в практику новые методы и средства обеспечения летных испытаний летательных аппаратов (ЛА) и их оборудования на основе спутниковых, компьютерных и информационных технологий. К числу таких средств относится прежде всего система траекторных измерений и основной ее элемент - комплекс бортовых траекторных измерений, в котором на основе алгоритмов комплексной обработки информации решаются задачи оценки характеристик ЛА и бортового оборудования, требующих знания эталонных параметров траекторного движения.     Рассмотрены методы и алгоритмы эталонных определений параметров траектории движения ЛА и результаты их метрологической аттестации. |  |
| УДК 531.383  **А.М. Боронахин, А.В. Мочалов, М. Рехель, Й. Шмайстер  Исследование интегрированной системы навигации на рельсовом пути** | 181 |
| Для решения актуальной задачи - привязки результатов измерения геометрических параметров и обнаруженных дефектов рельсового пути к пройденному расстоянию разработаны алгоритмы коррекции показаний датчика пройденного пути (одометра) по сигналам спутниковой навигационной системы (СНС) с использованием данных от инерциальной навигационной системы (ИНС). На основе этих алгоритмов исследованы различные варианты построения интегрированных систем. |  |
| **ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ** |  |
| УДК 621.396.988.6.629.19  **О.А. Степанов, Д.А.Кошаев  Исследование методов решения задачи ориентации с использованием спутниковых систем** | 197 |
| В рамках теории оптимального оценивания предлагается постановка задачи определения ориентации по данным спутниковых навигационных систем, позволяющая учесть нелинейную зависимость используемых фазовых измерений от углов ориентации и наличие целочисленных составляющих ошибок, порожденных неоднозначностью этих измерений. Проводится сравнительный анализ алгоритмов, используемых в настоящее время для исключения неоднозначности и непосредственного нахождения углов ориентации в условиях, когда неоднозначность исключена. Устанавливается связь этих алгоритмов с оптимальным решением. Обсуждаются различные методы повышения точности определения параметров и ориентации в интегрированных системах, использующих информацию от инерциальных и спутниковых средств. |  |
| **Л. П. Несенюк, Л. П. Старосельцев, Г. А. Парр, В.И. Кокорин, Ю.Л.Фатеев, С.П. Баринов, С.М.Бублик, А.А.Шашков  Интегрированная инерциально-спутниковая система ориентации и навигации с разнесенными антеннами** | 222 |
| В докладе обсуждаются полученные результаты лабораторных и судовых испытаний угломерной аппаратуры потребителя МРК-11 спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS разработки НИИ радиотехники Красноярского государственного технического университета в целях определения перспективы использования этой аппаратуры совместно с миниатюрным бесплатформенным измерительным модулем, разработанным ЦНИИ "Электроприбор". На основе анализа экспериментально полученных характеристик погрешностей спутникового приемника и инерциального измерителя предложен комплексирующий фильтр. Приводятся результаты полунатурного моделирования погрешностей интегрированной системы. |  |
| **Рефераты на английском языке** | 230 |