

**ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«АЗЕРБАЙДЖАН ХАВА ЙОЛЛАРЫ»
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ**

На правах рукописи

КАМАЛ ХЕЙРАДДИН ОГЛЫ ИСМАИЛОВ

**МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора
технических наук

по специальности: 3324.07 – «Дистанционные аэрокосмические
исследования»

Баку – 2013

Диссертация выполнена в Национальной Академии Авиации
(НАА) Азербайджана

Научный консультант:

д.ф.-м.н., академик НАНА
лауреат Государственной премии

А.Ш. Мехтиев

Официальные оппоненты:

д.т.н., член-корреспондент НАНА

Р.М. Мамедов

д.т.н., профессор

Т.М. Гасымзаде

д.т.н., профессор

И.М. Исмаилов

Ведущая организация:

Институт Кибернетики НАНА

Защита состоится « 25 _____ » 10 _____ 2013 г. в _____ часов на заседании
Диссертационного Совета В/D 06.001 при Национальной Академии
Авиации по адресу: AZ 1045, г. Баку, Бина, 25-й км.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НАА.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2013 г.

Ученый Секретарь

Диссертационного Совета В/D 06.001

д.ф. по технике, доцент

С.Б. Габибуллаев

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Мультисенсорное дистанционное зондирование в принципе может быть осуществлено при помощи различных технических систем, размещенных как на одном, так и на нескольких носителях, таких как спутники, самолеты, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), совершающих групповые полеты. Далее в настоящей работе подразумевается, что мультисенсорное дистанционное зондирование осуществляется с помощью группового полета носителей.

Концепция групповых полетов спутников (formation flight) является общей методологией, согласно которой организуется работа спутников в группе для выполнения единой цели, которая обычно является целью одного большого и более дорогого спутника или выполнение которой в случае негрупповых полетов требует больших затрат средств и времени. Скоординированная совместная работа малых спутников имеет много преимуществ по сравнению с одним большим спутником, такие как простота конструкции, короткое время построения, дешевизна замены отдельных компонентов путем создания некоторой избыточности, высокая разрешающая способность, а также способность наблюдать исследуемый объект многократно под различными углами. Такие качества превращают системы группового полета спутников в идеальное средство для проведения исследований в области астрономии, коммуникаций, метеорологии, экологии и дистанционного зондирования.

С инженерной точки зрения обеспечение групповых полетов предусматривает организацию геометрии полета с учетом ограничений на топливные ресурсы для выполнения научных требований и проведение операций измерения и контроля относительных положений спутников с использованием межспутниковых линий связи для поддержания указанной геометрии. В целом, групповые полеты спутников основываются на решении таких вопросов, как: (а) обеспечение геометрии взаимного расположения спутников, (б) проведение относительных измерений между спутниками; (в) межспутниковые коммуникации; (г) контроль за проведением группового полета.

Использование групповых полетов БПЛА для выполнения операций дистанционного зондирования является недорогой

альтернативой использованию пилотируемых летательных аппаратов. Мультисенсорное дистанционное зондирование с использованием БПЛА идеально приспособлено для выполнения опасных или однообразных задач, осуществление которых противопоказано для человека в роли пилота.

Групповые полеты БПЛА представляют собой особый интерес с учетом их способности обеспечивать одновременный охват больших территорий или кооперировать с целью выполнения задач дистанционного зондирования. Кооперирование и координация работы БПЛА в группе позволяет выполнить такие работы как контроль границы, поиск и спасение, разведка, картографирование вражеской территории и т.д.

Важнейшей задачей надлежащей организации мультисенсорного дистанционного зондирования является разработка научно-методических основ осуществления параллельного зондирования с использованием технических средств, размещенных на спутниках, самолетах, БПЛА. К числу основных направлений создания научно-методических основ можно отнести следующие:

1. Разработка методик высокоточных дистанционных измерений, специально приспособленных для реализации на базе различных носителей, осуществляющих групповой полет.

2. Оптимизация точностных и информационных характеристик систем мультисенсорного дистанционного зондирования.

3. Организация калибровки и валидации систем мультисенсорного дистанционного зондирования.

Важнейшей сферой применения методов и средств мультисенсорного дистанционного зондирования являются такие гидрофизические объекты, как озера, моря и океаны.

Измерительная информация, получаемая при мультисенсорном дистанционном зондировании гидрофизических объектов, должна быть откалибрована и проверена на аутентичность. Для калибровки дистанционной гидрофизической информации необходимо иметь достоверные данные о поверхностной температуре морей и океанов. Для решения указанной задачи необходимо использование морских буйковых станций, снабженных первичными измерительными преобразователями и системой сбора и обработки информации. Таким образом, разработка новых информационных технологий океанологической наблюдательной системы с использованием

методов и средств космического мультисенсорного дистанционного зондирования диктует необходимость создания сетей средств контактных измерений (буйков) с целью исследования температурного режима поверхностного слоя океанов.

Состояние проблемы. Относительная новизна теории и методологий групповых полетов спутников (formation flight), являющихся основой мультисенсорного спутникового дистанционного зондирования – главная причина некоторого неустановившегося характера терминологии в этой области. В целом, в зарубежной научно-технической литературе принята следующая терминология, являющаяся основой соответствующей классификации методов группового зондирования на базе спутников:

1. Последовательное прохождение или прослеживание (Trailing). Классическим примером здесь является групповое функционирование спутников Terra и Aqua.

2. Кластерные (Cluster) групповые полеты спутников. Целью таких полетов является пространственный высокоточный синтез различных конфигураций устройств дистанционного зондирования (например, синтез радара с синтезированной апертурой на базе малых спутников). В качестве примера можно указать проекты Tech Sat 21, PRISMA и др.

3. Групповые полеты спутников типа созвездие (Constellation). Такой тип мультисенсорного дистанционного зондирования обычно используется для изучения явлений и событий, характеризующихся их широким пространственным распределением. В качестве примера можно привести такие системы как LEO, A-Train, Galileo, GPS и др.

Совместное (cooperative) дистанционное зондирование, осуществляемое с помощью малых и недорогих БПЛА, представляет собой большой интерес для применения, как в военных, так и в мирных событиях, включая такие сферы как мониторинг территорий, картографирование, патрулирование, поиск и спасение.

Необходимо отметить, что БПЛА имеют две основных преимущества при выполнении задач как военного, так и мирного назначения: во-первых, они свободны от ограничений, связанных с человеческим фактором, во-вторых, они имеют малые расходы на обеспечение их функционирования в течение всего жизненного цикла.

Существуют многие методы измерения и управления, которые достаточно трудоемкие и не могут быть просто скопированы для

применения в группе носителей. Системы управления, сбора и обработки информации, получаемой с группы носителей, должны быть оптимизированы с учетом как свойств и особенностей группового полета носителей, так и объекта исследования. В настоящее время в рамках гидрофизического и гидрометеорологического мониторинга методами дистанционного зондирования, осуществляемого с помощью групповых полетов различных носителей, решаются задачи глобального мониторинга пространственной структуры метеорологических параметров (температуры, ветра, волнения). Достоверность результатов таких измерений прямо зависит от используемых методов и процедур калибровки и валидации используемых технических средств.

В зарубежной практике в целях калибровки и валидации результатов гидрофизических дистанционных измерений используются различные методы контактных измерений параметров поверхностного слоя водоемов, в том числе буйковые морские станции и сети. При построении буйковых станций, используемых для калибровки, необходимо решить такие важнейшие задачи, как: (а) создание эффективных систем сбора и обработки информации, (б) создание адаптивных кодирующих устройств, позволяющих сократить избыточность, имеющуюся в гидрофизических сигналах, (в) создание других элементов и узлов, позволяющих повысить общую информативность, точность и достоверность получаемой гидрофизической информации.

Цель работы. Целью диссертационной работы является разработка научно-методических основ мультисенсорного дистанционного зондирования, осуществляемого спутниками и беспилотными летательными аппаратами, а также создание научно-технических основ разработки, калибровки, информационного обеспечения и построения таких систем.

Основные задачи исследований, которые были поставлены и решены в диссертационной работе:

1. Формулирование принципа мультисенсорного космического дистанционного зондирования и путей его реализации на основе синтеза вариантов осуществления групповых полетов спутников.
2. Формирование на базе оптимизированной единой информационной модели подкласса информационных систем

дистанционного действия, содержащего системы позиционирования, локации, дистанционного зондирования.

3. Разработка оптимизационного метода классификации и уменьшения размерности признакового пространства в системах дистанционного зондирования многокомпонентных объектов
4. Разработка метода дистанционного зондирования атмосферного аэрозоля, а также разработка метода калибровки применяемых при этом бортовых спектрорадиометров при групповом полете трех спутников.
5. Разработка концепции оптимальной конфигурации мультисенсорного дистанционного измерения температуры поверхностного слоя воды морей и океанов, совмещенной с подспутниковой системой многоуровневой калибровки.
6. Оптимизация управления групповым полетом БПЛА по различным критериям, при различных сценариях изменения основных режимных параметров и траекторий полета.
7. Разработка алгоритма параметрического преобразования результатов измерений применительно к трехволновым солнечным фотометрам.
8. Анализ взаимосвязи комплексных спектральных оценок облаков и растительности с целью последующего расширения возможностей метода измерения оптической толщины облаков посредством синтеза обобщенных прямых и инверсных вегетационных индексов.
9. Определение оптимальных соотношений суммарной погрешности измерения температуры поверхностного слоя моря с помощью ИК радиометра и буйковых контактных измерителей.

Методы исследования. В процессе решения поставленных научных задач были использованы соответствующие положения теории оптических атмосферных измерений, математического анализа, теории вариационного исчисления, теории оптимизации и теории информации. С целью подтверждения полученных теоретических положений и выводов были проведены модельные исследования с привлечением экспериментальных результатов. Все технические решения по построению устройств и узлов буйковой гидрофизической станции, защищенные авторскими свидетельствами, были экспериментально опробованы и подтвердили свою работоспособность.

Научная новизна.

1. На основе известной классификации групповых полетов спутников, а также предложенного табличного синтеза возможных вариантов осуществления дистанционного зондирования сформулирован принцип мультисенсорного космического дистанционного зондирования и указан оптимизированный путь его реализации с использованием предложенных обобщенных диаграмм Вороного.

2. На базе оптимизированной единой информационной модели сформирован подкласс информационных систем, в который включены такие системы, как система позиционирования, система локации, а также система дистанционного зондирования, для которой был предложен метод оптимизационной классификации и уменьшения размерности признакового пространства.

3. Разработан метод дистанционного зондирования атмосферного аэрозоля, а также метод калибровки бортовых спектрорадиометров при групповом полете трех спутников.

4. Предложена концепция оптимальной конфигурации мультисенсорного дистанционного измерения температуры поверхностного слоя морей и океанов, совмещенной с подспутниковой системой многоуровневой калибровки.

5. Оптимизировано управление групповым полетом БПЛА по критерию суммарной пропускной способности каналов управления и связи. Предложены и оптимизированы различные режимные сценарии дистанционного зондирования, осуществляемого одиночными и парными БПЛА.

6. Предложено параметрическое преобразование исходных данных, позволяющее сокращение объемов необходимых вычислений при проведении фотометрических измерений.

7. Доказана теорема, согласно которой нормализованный дифференциальный облачный индекс меньше или равен значению нормализованного дифференциального вегетационного индекса; обобщен метод измерения оптической толщины облаков с использованием исходящей с подстилающего вегетационного покрова радиации; синтезированы обобщенные вегетационные индексы для реализации предложенного метода.

8. Показано, что операции дистанционного теплового радиометрического измерения температуры поверхностного слоя моря

и сопоставления результатов таких измерений с результатами буйковых контактных измерений характеризуются суммарной погрешностью с ярко выраженным минимумом, что позволяет ставить и решать оптимизационные задачи при проведении таких измерений.

Практическая ценность.

1. Разработанные в настоящей диссертационной работе основные теоретические положения, методы и способы мультисенсорного дистанционного зондирования с помощью различных носителей могут быть использованы в качестве базы в перспективных разработках и проектах по дистанционному зондированию Земли и различных составляющих атмосферы.

2. Предложенные, защищенные авторскими свидетельствами и реализованные различные технические решения по построению морской геофизической буйковой станции измерения температурного режима поверхностного слоя морей и океанов могут быть с успехом использованы при построении аналогичных станций, а также при проведении работ по их усовершенствованию.

3. Предложенный аппаратный способ коррекции геометрических искажений для систем сбора и обработки аэрокосмических данных, возникающих при отклонениях носителя от горизонтальной направленности полета, позволяет оперативно оценить исследуемый объект непосредственно на борту носителя, осуществить необходимую коррекцию и тем самым разгрузить каналы телеметрии.

4. Предложенный метод определения местонахождения морского корабля с помощью геостационарных спутников в квазиреальном масштабе времени использует для определения своего местонахождения сведения о координатах как минимум двух спутников с применением конвейерного способа вычислений, что позволяет на практике сократить время решения задачи от 1,5 минут до 2 миллисекунд.

5. Применение на практике предложенного способа повышения точности измерения температуры поверхностного слоя морей с помощью гидрофизической буйковой системы путем детектирования аномального волнения морской поверхности с помощью волнографа и отключения сигналов датчиков с измерительной схемы при больших волнениях моря позволит существенно повысить информативность аналогичных гидрофизических станций и сетей.

6. Предложенный способ построения автоматической буйковой системы гидрологического зондирования, заключающийся в реализации принципа принудительного подъема зонда при помощи лебедки и троса для исключения влияния таких факторов как течение, биологическое обрастание, коррозия, позволит существенно повысить достоверность информации, выдаваемой буйковой гидрофизической станцией.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Сформулированный принцип мультисенсорного космического дистанционного зондирования и предлагаемый путь его реализации на основе предложенных обобщенных диаграмм Вороного в оптимизационной постановке задачи их применения.

2. Сформированный подкласс информационных систем дистанционного действия, содержащий системы позиционирования, локации, дистанционного зондирования.

3. Оптимизационный метод классификации и уменьшения размерности признакового пространства в системах дистанционного зондирования многокомпонентных объектов.

4. Метод калибровки бортовых спектрорадиометров при групповом полете трех спутников, осуществляющих дистанционное зондирование атмосферного аэрозоля, и метод измерения оптических параметров рассеяния аэрозоля.

5. Концепция построения оптимальной конфигурации системы мультисенсорного дистанционного измерения температуры поверхностного слоя морей и океанов, включающей в себя подспутниковую систему многоуровневой калибровки.

6. Результаты оптимизации управления групповым полетом БПЛА по критерию суммарной пропускной способности каналов управления и связи. Оптимизированные режимы временного изменения основных параметров дистанционного зондирования, осуществляемого одиночными и парными БПЛА.

7. Параметрическое преобразование, позволяющее сократить объемы необходимых вычислений при проведении фотометрических атмосферных измерений.

8. Обобщение известного метода измерения оптической толщины облаков с использованием радиационного двухспектрального потока с подстилающего вегетационного покрова. Сформулированная и доказанная теорема, согласно которой известный нормализованный

дифференциальный облачный индекс всегда меньше или равен значению нормализованного дифференциального вегетационного индекса. Синтезированные обобщенные прямые и инверсные вегетационные индексы для реализации предложенного обобщенного метода.

9. Обнаруженное экстремальное свойство точностных характеристик операции дистанционного теплового радиометрического измерения температуры поверхностного слоя моря при сопоставлении результатов таких измерений с результатами буйковых контактных измерений.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований диссертации доложены и обсуждались на следующих международных симпозиумах и конференциях:

- Всесоюзной школы-семинара «Распараллеливание обработки информации», Львов, 1987, 18-23 мая.

- Всесоюзная конференция. Методы и средства дистанционного зондирования земли и обработка космической информации в интересах народного хозяйства. Тезисы докладов. Часть 1. Рязань, 1989.

- II Республиканский Семинар «Проблемы создания систем обработки, анализа и распознавания изображений. / Тезисы докладов. Ч.1, Ташкент, 1989.

- Четвертая Всесоюзная Конференция «Математические методы распознавания образов». Рига, 1989.

- Proceedings of 8th IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS 2010). St. Peterburg, Russia, September 17-20, 2010.

- XII международная научно-практическая конференция «Современные информационные и электронные технологии». СИЭТ 2011, Одесса.

- International Scientific Conference “Modern Issues of Applied Physics” Abstract Digest, Tbilisi, 2011.

- CALCON Technical Conference. 2011, August 29-September 1, Utah State University, Logan, Utah, USA.

- международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и охраны труда», Курск, апрель, 2012.

- XXII International Society for Photogrammetry & Remote Sensing Congress. Melbourne, Australia, 25 August – 1 September, 2012.

Реализация результатов работы. Полученные в диссертационной работе результаты использованы в НИР «Разработка методов высокоточного измерения спектральной оптической плотности атмосферы для исследования и корректировки спутниковых данных» и в НИР «Исследование особенностей распространения акустических волн в атмосфере во время взрыва», проведенных соответственно 2008-2009 и 2010 – 2011 годах в Научно – Исследовательском Институте Аэрокосмической Информатики Национального Аэрокосмического Агентства.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 49 статей в научных журналах и трудах ряда конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и основных выводов. Основной текст изложен на 284 страницах, содержит 92 рисунков и 10 таблиц. Список литературы включает 156 наименований.

Автор выражает свою признательность нач. отд. НИИ АИ МАКА д.т.н., Асадову Х.Г. за ценные обсуждения ряда результатов диссертационной работы, а также содействие во внедрении некоторых результатов работы в тематических плановых разработках НИИ АИ Национального Аэрокосмического Агентства.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе изложены разработанные положения, представляющие собой основу мультисенсорного дистанционного зондирования, реализуемого с использованием различных носителей.

В общем случае принцип мультисенсорного космического дистанционного зондирования можно сформулировать как использование близких по своему функциональному назначению или идентичных спутников дистанционного зондирования в групповом полете по заранее установленным траекториям и орбитам для проведения комплексных исследований, подчиненных единой цели.

В этом плане широко известен научно-технический эксперимент по космическому групповому дистанционному зондированию под названием «A-Train», суть которого заключается в последовательном прохождении приблизительно единой орбиты такими спутниками как Aura, Parasol, CALIPSO, Cloud Sat, Aqua, OCO.

Рассмотрена возможность обобщения метода диаграмм Вороного для системы мультисенсорного дистанционного зондирования, реализованной на базе БПЛА. Конкретно рассмотрен случай, когда имеется множество сенсоров $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, установленные на носителях с одинаковым углом обзора α , и множество изучаемых объектов $L = (L_1, L_2, \dots, L_n)$. При этом носители могут летать на разных высотах и осуществлять снимки в разных спектральных диапазонах.

Каждый сенсор z_i характеризуется функцией

$$z_i = \varphi(h, \lambda),$$

где h - высота полета; λ - длина волны спектральных измерений.

Обобщенной диаграммой Вороного для мультисенсорного дистанционного зондирования будет названа кривая функции $\lambda = \varphi(h)$ на плоскости (λ, h) , позволяющая оптимально распределить сенсоры z_i по объектам L_i - на плоскости (λ, h) по критерию достижения максимальной информативности.

Дано аналитическое решение задачи построения оптимальных обобщенных диаграмм Вороного для одномерного случая. Сформулированы отличительные свойства обобщенных диаграмм Вороного.

Далее в первой главе сформулирована и решена оптимизационная задача классификации и снижения размерности данных физических объектов в виде тестовых участков, полученных при их дистанционном зондировании. Задача оптимизации сформулирована следующим образом: Имеются тестовые участки с заданной площадью $S_i, i = \overline{1, n}$ (рис. 1). Следует осуществить классификацию этих участков с помощью вводимых классификационных функций, используемых при оптимизационном уменьшении размерности пространства параметров всей системы измерений.

В качестве классификационных (дискриминантных) функций используются оптические спектральные индексы α_i . Полагаем существование множества $\{\psi_i\}$, элементы которого отображают отношение сигнал/шум на выходе измерительного прибора. При этом известно существование взаимно-однозначных функций $\alpha = \alpha(\psi)$ и $\psi = \psi(S)$, где $\psi(S)$ - сигнал/шум на выходе измерителя, зависящий от

значения параметра S компонентов исследуемого объекта, где S - площадь компонентов дистанционно изучаемого объекта.

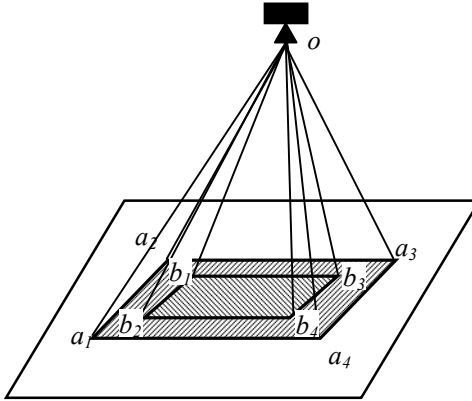


Рис. 1. Графическая интерпретация процесса дистанционного зондирования.

Для решения задачи оптимизационной классификации и уменьшения размеров пространства параметров сформирован следующий функционал безусловной оптимизации

$$\int_0^{S_{max}} S \log_2 [\alpha_0 + \alpha'_\psi \cdot \psi(S)] dS + \lambda \int_0^{S_{max}} [\alpha_0 + \alpha'_\psi \cdot \psi(S)] dS. \quad (1)$$

Решение вышеуказанной оптимизационной задачи с применением правила Эйлера дало следующее выражение для оптимальной функции $\psi(S)$

$$\psi(S)_{opt} = \frac{2CS}{\alpha'_\psi S_{max}^2} - \frac{\alpha_0}{\alpha'_\psi}. \quad (2)$$

Сформулированные на основе выражения (2) соотношения между основными классификационными показателями $\alpha'_\psi, \psi(S)$ и S показаны в табл. 1.

Результаты проведенной оптимизационной классификации

Таблица 1

Признаки классификации		Оптимизационная классификация	
по виду функции	по виду функции	α'_{ψ} положительная величина	α'_{ψ} отрицательная величина
$\psi = \psi(S)$	$\alpha = \alpha(\psi)$	$\psi(S) \sim S$	$\psi(S) \sim \frac{1}{S}$

Также в первой главе рассматривается обобщенный подкласс систем дистанционного действия, т.е. такие информационные системы, которые осуществляют одну из следующих типов операций: 1) дистанционное зондирование; 2) дистанционную локацию; 3) дистанционное позиционирование.

Дана классификация таких систем, предложена их общая информационная модель и осуществлен синтез оптимальных структур систем.

Разработана соответствующая методика синтеза оптимальных систем дистанционного зондирования, а также систем позиционирования.

Далее в первой главе рассмотрена и решена задача выбора критерия оптимизации для универсальных систем дистанционного зондирования, формирующих изображения, с целью решения трех видов задач: 1. Обработка изображений; 2. Обнаружение временных изменений; 3. Интегрирование в Географических Информационных Системах данных, полученных от нескольких источников.

Вторая глава диссертационной работы посвящена повышению эффективности спутникового мультисенсорного дистанционного зондирования. Рассмотрена возможность проведения аэрозольных исследований с помощью группового полета малых спутников и предложен новый метод измерения альbedo однократного рассеяния атмосферного аэрозоля, осуществляемого синхронно тремя малыми спутниками, расположенными над исследуемой зоной поверхности Земли (рис. 2).

Предлагаемый способ базируется на известном методе измерения диффузной (рассеянной) радиации над темным объектом с целью определения оптической толщины аэрозоля и позволяет

нейтрализовать влияние оптических толщин различных фракций атмосферного аэрозоля.

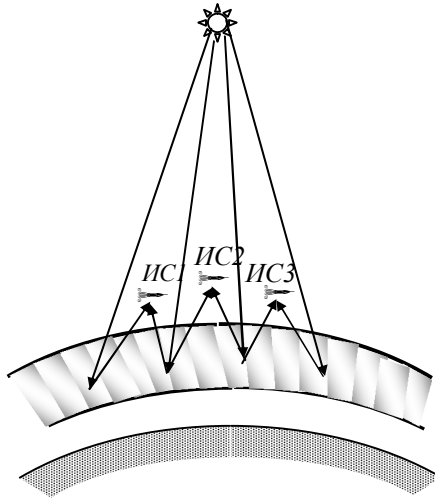


Рис. 2. Измерения с помощью трех малых спутников.

Показано, что при реализации предлагаемого способа могут быть получены выражения (3), (4) и (5), составляющие систему уравнений, решение которой позволяет вычислить значение обобщенного оптического параметра $\omega_0 \cdot P(\theta)$, т.е. $\omega_{0_i} \cdot P(\theta)_i, i = \overline{1,3}$;

$$\frac{[\omega_{01} \cdot P(\theta)_1]^{k_{10}} \cdot [\omega_{03} \cdot P(\theta)_3]^{k_{30}}}{\omega_{02} \cdot P(\theta)_2} = \gamma_1. \quad (3)$$

$$\frac{[\omega_{01} \cdot P(\theta)_1]^{k'_{10}} \cdot [\omega_{03} \cdot P(\theta)_3]^{k'_{30}}}{\omega_{02} \cdot P(\theta)_2} = \gamma_2, \quad (4)$$

$$\frac{[\omega_{01} \cdot P(\theta)_1]^{k''_{10}} \cdot [\omega_{03} \cdot P(\theta)_3]^{k''_{30}}}{\omega_{02} \cdot P(\theta)_2} = \gamma_3. \quad (5)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ - экспериментально определяемые параметры; $k_{10}, k_{30}, k'_{10}, k'_{30}, k''_{10}, k''_{30}$ - коэффициенты, определяемые путем вычислений; $\omega_{0i}, i=\overline{1,3}$ - альbedo однократного рассеяния аэрозоля; $P(\theta)_i$ - фазовая функция; i - номер спутника.

Далее во второй главе излагается предлагаемый новый метод сравнительной калибровки однотипных многоканальных бортовых спектрорадиометров, а также рассмотрены вопросы оптимизации режимов функционирования группового полета малых спутников дистанционного зондирования, которые осуществляют съемки различных участков земли с учетом запросов пользователя.

Рассматривается система, содержащая группу спутников, включающая два или более спутников на низкой земной орбите или на средней земной орбите, один или несколько наземных станций контроля и мониторинга спутников сбора и обработки данных, а также список объектов на поверхности Земли, подлежащих наблюдению. Рассматриваемая система имеет структурные и операционные ограничения (ограниченные бортовые ресурсы, ограничения в контактах с наземной станцией и т.д.). Основные ограничения по графику функционирования возникают на основе запросов пользователей.

На конкретном примере показано, что предлагаемая оптимизация системы группового полета малых спутников в режиме съема космических изображений позволяет повысить чувствительность системы в отношении принятого весового коэффициента времени отклика системы при постоянстве исходно заданной приоритетности P , определяемой как

$$P = \lambda \cdot OP + \tau \cdot TS,$$

где OP - количество возможностей снять информацию со спутника; TS - величина временного окна; $\lambda \cdot OP$ - количество выполненных запросов; $\tau \cdot TS$ - время отклика системы; λ и τ - весовые коэффициенты OP и TS .

Далее во второй главе изложена предложенная концепция оптимального мультисенсорного дистанционного зондирования с многоуровневой калибрацией.

При решении математической задачи оптимизации использованы следующие основные переменные:

1) x - порядковый номер спутника в группе, дискретная величина;
 2) y - порядковый номер средства калибровочного измерения в пределах многоуровневой системы подспутниковых измерений.

Точностные характеристики спутниковых средств измерений и калибровочных средств определяются следующими функциями:

1) $\Delta(x)$ - погрешность измерения спутника с порядковым номером x ;

2) $\Delta(y)$ - погрешность измерения средства калибровки с порядковым номером y .

Показано, что при принятом ограничительном условии искомая оптимальная функция $y = f(x)$, связывающая переменные y и x , удовлетворяет следующему условию

$$f(x) = \frac{2x \cdot C}{x_m^2} + \frac{1}{\Delta'_y} \left(\frac{2x}{x_m - 1} \right) \left[\Delta(x) + \Delta_{O_y} \right], \quad (6)$$

где x_m - максимальная величина x ; Δ'_y и Δ_{O_y} являются элементами разложения $\Delta(y) = \Delta_{O_y} + \Delta'_y \cdot y$; C определяется из условия

$$\int_0^{x_m} f(x) dx = C.$$

Далее во 2-й главе рассмотрены вопросы оптимизации многосенсорного спутникового измерения температуры поверхности моря (ТПМ) в инфракрасном диапазоне.

Показано, что суммарная погрешность измерения ТПМ складывается из следующих частных погрешностей: (1) погрешность измерения ТПМ с помощью ИК радиометра; (2) погрешность контактных буйковых измерений с учетом автокорреляционной функции температуры двухмерного поля морской поверхности.

Показано наличие минимальной точки в зависимости суммарной погрешности от величины отношения расстояния спутник - буй к высоте полета спутника, что обуславливает возможность оптимизации проведения аналогичных измерений.

В конце 2-й главы рассмотрены вопросы построения информационной модели двухсенсорного мониторинга оптической толщины атмосферного аэрозоля.

Третья глава диссертационной работы посвящена мультисенсорному дистанционному зондированию с помощью беспилотных летающих аппаратов. Изложена предлагаемая теория централизованного адаптивного оптимального управления группой БПЛА в полете. Свойство адаптивности управления в данном случае заключается в зависимости ширины выделенного частотного канала для связи с i -м БПЛА от расстояния между центральным БПЛА и i -м БПЛА, т.е. в рассматриваемом случае адаптивного управления имеем

$$B = B(r). \quad (7)$$

Кроме этого, отношение сигнал/шум в канале также является функцией r , т.е.

$$\psi = \psi(r). \quad (8)$$

Суммарная пропускная способность по всем каналам оценена как

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n B(r_i) \log_2 [1 + \psi(r_i)]. \quad (9)$$

Для формирования математической задачи безусловной вариационной оптимизации принято следующее ограничительное условие

$$\sum_{i=1}^n [1 + \psi(r_i)] = C_0, \quad (10)$$

где $C_0 = const$.

В результате оптимизации целевого функционала, составленного с учетом выражений (9) и (10), получено следующее решение

$$\psi(r)_{opt} = \frac{(B_0 + B'_r \cdot r)C_0}{B_0 \cdot r_{max} + \frac{B'_r \cdot r_{max}^2}{2}} - 1. \quad (11)$$

На основе полученного выражения сформулированы оптимальные режимы управления группой БПЛА.

Далее в третьей главе изложен предлагаемый метод мультисенсорного дистанционного зондирования малых газов атмосферы с помощью БПЛА в аэрозольной среде с параметрически конкурируемыми дисперсными компонентами.

В третьей главе также изложен предлагаемый метод информационной оптимизации мультисенсорного дистанционного зондирования, осуществляемого парой беспилотных аппаратов. На

рис. 3 показана схема двухуровневого дистанционного зондирования, осуществляемого противофазно двигающимися двумя БПЛА. Количество информации, выдаваемой каждым из БПЛА в момент T , в упрощенном случае оценено как

$$M = N(T) \log_2 \psi(T), \quad (12)$$

где $N(T)$ - количество осуществляемых измерений при каждом очередном шаге подъема или спуска, осуществляемого во времени; $\psi(T)$ - отношение сигнал/шум во времени при подъеме или спуске.

Рассмотрены возможные сценарии развития ситуации, т.е. параметров ψ и N во времени T .

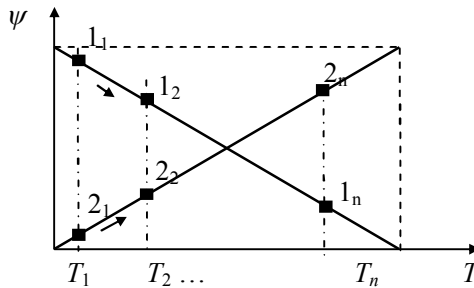


Рис. 3. Возможные высотные позиции, занимаемые БПЛА 1 и БПЛА 2. Принятые обозначения: $1_i; i = \overline{1, n}$ - БПЛА 1; $2_i; i = \overline{1, n}$ - БПЛА 2; T - время проведения измерений; ψ - отношение сигнал/шум в видеотракте.

Для траекторий подъема и спуска БПЛА получены упрощенные формулы для вычисления количества информации на выходах БПЛА.

Показано, что информационные характеристики пары БПЛА, участвующих в параллельном многоуровневом дистанционном зондировании, в ряде случаев могут иметь экстремальный характер. Учет экстремальных свойств информационных характеристик многоуровневого дистанционного зондирования особенно важен при построении высокоэффективных систем идентификации и мониторинга, требующих обработки больших массивов информации за короткое время.

Далее в третьей главе рассматривается возможность оптимизации мультисенсорного дистанционного зондирования по критерию пропускной способности, осуществляемого парой БПЛА, двигающимися по встречно-противофазной траектории.

В третьей главе также рассмотрены вопросы построения лазерной беспроводной связи в группе непилотируемых летательных аппаратов дистанционного зондирования.

Архитектура связи между элементами группы БПЛА может быть представлена конфигурацией сети связи в виде кольца или в виде звезды, при этом также возможно комбинирование этих структур.

Задача исследования сформулирована следующим образом: создать такую структуру многоволновой атмосферной коммуникационной сети, при которой качество связи, с учетом некоторых допущений, не зависело бы от дальности видимости.

Предложено обобщение известного метода компенсации для трехволнового канала на случай использования n спектральных каналов с длинами волн $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$.

Далее в третьей главе рассмотрены вопросы организации лазерной линии передачи данных дистанционного зондирования между беспилотными летательными аппаратами.

Рассмотрено влияние ветровой изменчивости морского аэрозоля на возможности организации оптической связи между парой БПЛА, выполняющей полет в береговой зоне. Конкретно рассматривается звездообразная структура мультисенсорного дистанционного зондирования Земли, при этом вся видеоинформация с периферийных БПЛА передается на центральный БПЛА, который отдельным оптическим каналом сбрасывает информацию на наземный пункт приема.

Также рассмотрен процесс оптимизации взаимной работы одной пары БПЛА, состоящей из периферийного БПЛА и центрального БПЛА. При этом учитывается, что периферийный БПЛА осуществляет цифровое фотографирование земной или морской поверхности и посылает соответствующий массив информации центральному БПЛА в целях осуществления дистанционного экологического мониторинга.

Получено выражение, позволяющее вычислить максимальное возможное расстояние между парой БПЛА в смысле обеспечения

оперативной передачи измерительной информации дистанционного зондирования с периферийного аппарата на центральный.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена вопросам наземно-методического обеспечения мультисенсорного дистанционного зондирования, выполняемого на базе различных носителей.

В начале главы изложен предлагаемый метод логарифмического преобразования исходных данных фотометрических измерений (рис. 4).

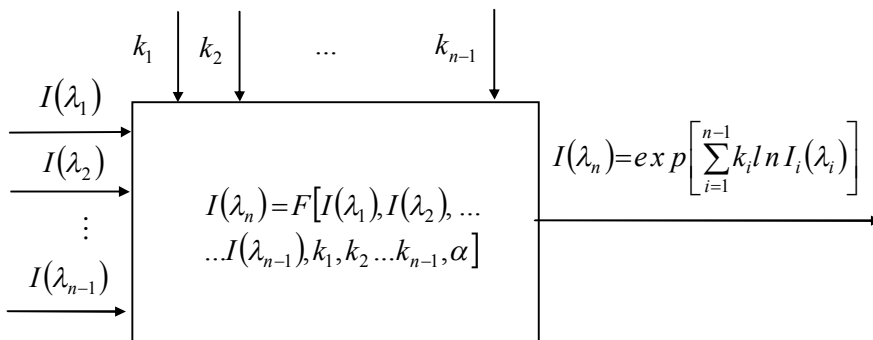


Рис. 4. Условное обозначение параметрического преобразования.

Цель предлагаемого дискретного преобразования исходных данных фотометрических измерений заключается в таком преобразовании входного массива измерительных данных $\{I_i(\lambda_i)\}, i=1, \overline{(n-1)}$, при котором n -й член множества $\{I_i(\lambda_i)\}, i=1, \overline{n}$ мог бы быть представлен следующим виде

$$I(\lambda_n) = e^{\sum_{j=1}^{n-1} k_j \ln I_j(\lambda_j)}, \quad (13)$$

где $k_j, j=1, \overline{n-1}$ являются специально вычисляемыми коэффициентами.

Дано математическое обоснование возможности преобразования (13).

Далее в четвертой главе рассмотрены вопросы оптимизации серий мультиспектральных измерений атмосферы в морской среде в условиях ветра

Задача оптимизации для длительной серии атмосферных измерений ставится следующим образом: найти такую функцию $\lambda(v)$, при которой суммарное воздействие морского солевого аэрозоля за весь цикл спектрометрических измерений было бы сведено к минимуму.

Решение оптимизационной задачи получено в следующем виде

$$\lambda(v) = C_1 \cdot \exp\left(\frac{d_2 v}{\alpha_c + 1}\right), \quad (14)$$

где $C_1 = \text{const}$; $d_2 = 0,03$; v - скорость ветра; α_c - показатель Ангстрема.

В четвертой главе также рассмотрены вопросы измерения компонентов системы «вегетация – облачный покров» в районе аэропортов.

Известен способ измерения оптической толщины облаков при помощи резкого контраста между отражениями вегетационного покрова в близкой инфракрасной области и в красной зоне видимой области спектра. Общая идея этого способа заключается в том, чтобы использовать вегетацию в качестве источника, отражающего радиацию в указанных диапазонах, и путем наземных фотометрических измерений отраженных с облака радиаций оценить оптическую толщину облаков с помощью нормализованного дифференциального облачного индекса $NDCI$.

Предложено обобщение этого метода применительно к системе «вегетация – облачный покров», которое сформулировано следующим образом:

1. В случае наличия идеального и не изменяющегося во времени вегетационного покрова (и, соответственно, величины $NDVI$) оптическая толщина облаков может быть определена по известному методу путем вычисления облачного индекса $NDCI$.

2. В случае наличия хорошо идентифицированного облачного покрова состояние реальной вегетации (т.е. индекс $NDVI_r$) может быть определено по индексу $NDCI$.

Для оценки возможностей предложенного обобщенного метода исследования компонентов системы «вегетация-облачный покров» сформулирована и доказана следующая теорема.

Теорема. В системе «вегетация-облачный покров» между индексами $NDVI_r$ и $NDCI$ всегда существует соотношение

$$NDCI \leq NDVI_r, \quad (15)$$

Дано доказательство этой теоремы.

Далее в 4-й главе рассмотрена процедура информационного синтеза оптимальных вегетационных индексов. Обозначив синтезируемый индекс как $\alpha(L_1)$, энтропийную оценку этого индекса определим как

$$\ln[\alpha(L_1)+1].$$

В этом случае количество информации, извлекаемое при измерении этого индекса по дуге L_2 по всему сегменту (рис. 5), определим следующим образом

$$F = \int_{L_{2min}}^{L_{2max}} \frac{L_2}{\Delta l} \ln[\alpha(L_1)+1] dL_2. \quad (16)$$

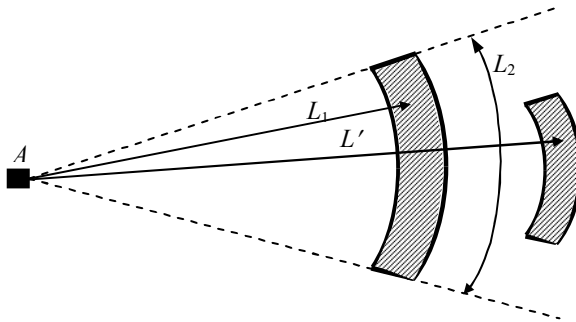


Рис. 5. Модельное представление исследования вегетационного поля вокруг аэропорта (A) при обратной взаимосвязи параметров L_1 и L_2 .

Показано, что при принятом ограничительном условии оптимальная зависимость функции $L_1 = f(L_2)$ имеет следующий вид

$$f_{opt}(L_2) = \left(\frac{2C}{L_2} - \alpha_0 - 1 \right) \cdot \alpha'. \quad (17)$$

При этом, если

$$\alpha' = \frac{d\alpha}{dL_1} > 0,$$

имеем

$$L_1 = \alpha' \left(\frac{2C}{L_2} - \alpha_0 - 1 \right). \quad (18)$$

т.е. L_1 и L_2 находятся в обратной взаимосвязи.

Если

$$\alpha' = \frac{d\alpha}{dL_1} < 0,$$

имеем

$$L_1 = |\alpha'| \cdot \left(1 + \alpha_0 - \frac{2C}{L_2} \right), \quad (19)$$

т.е. L_1 и L_2 с учетом знака находятся в прямой взаимосвязи.

Далее в четвертой главе рассмотрены вопросы организации многоуровневых подспутниковых измерений температуры поверхностного слоя морей при мультисенсорном дистанционном зондировании гидрофизических параметров.

Хорошо известно, что температура поверхностного слоя морей является наиболее важным параметром для океанографии и морской метеорологии. Поля температуры поверхностного слоя моря используются в качестве граничных условий для атмосферных и океанических моделей, а также для проверки подлинности их выходных данных.

Специфика дистанционных измерений поверхностной температуры морей и океанов такова, что согласно установившейся практике наиболее точным и широко применяемым средством калибровки как в одноуровневых, так и в многоуровневых системах калибровки являются плавучие буйковые станции.

Пятая глава диссертационной работы посвящена приборному обеспечению систем дистанционного зондирования и решению технических вопросов коррекции системы формирования изображений, и локации наземных объектов.

В отношении долговременной стабильности коэффициентов калибровки солнечного фотометра оптические интерференционные фильтры рассмотрены в качестве основного ограничительного

фактора. Сформулирована и решена задача синтеза алгоритма автоматической коррекции трехволновых солнечных фотометров с двухпараметрической коррекцией.

Далее в пятой главе изложен предлагаемый усовершенствованный метод трехволнового солнечного фотометрирования.

Формула Ангстрема может быть записана в отдельности для мелкодисперсных и крупнодисперсных составляющих аэрозоля, т.е.

$$\tau_{f \text{ аэп}}(\lambda) = \beta_f \cdot \lambda^{-\alpha_f}, \quad (20)$$

$$\tau_{c \text{ аэп}}(\lambda) = \beta_c \cdot \lambda^{-\alpha_c}. \quad (21)$$

Изложен предлагаемый порядок выбора одного из длин волн, используемых в трехволновом солнечном фотометре. Эту длину волну обозначим как λ_x . Порядок выбора λ_x иллюстрирован на рис. 6, где показаны: 1- кривая функции (20), 2- кривая функции (21).

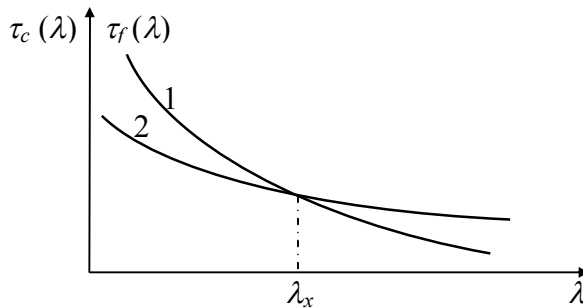


Рис. 6. Определение величины λ_x .

Показано, что при известных $\Delta\alpha = \alpha_f - \alpha_c$, β_c и β_f искомая длина волны λ_x может быть вычислена по формуле

$$\lambda_x = \Delta\alpha \sqrt{\frac{\beta_f}{\beta_c}}. \quad (22)$$

Предложен порядок выбора других длин волн, а также коэффициентов коррекции.

Показано, что при разработке и проектировании трехволновых солнечных фотометров с двухпараметрической коррекцией возможен такой порядок выбора длин волн, при котором можно было бы

избежать решения системы уравнений для вычисления параметров коррекции. Это преимущество особенно важно при разработке многоволновых n - параметрических солнечных фотометров, где уменьшение порядка матричных вычислений позволяет существенно уменьшить общий объем необходимых вычислений.

Далее в пятой главе описан предложенный способ определения метеорологических параметров с помощью микроволнового радара бокового обзора.

Схема распространения сигналов показана на рис. 7.

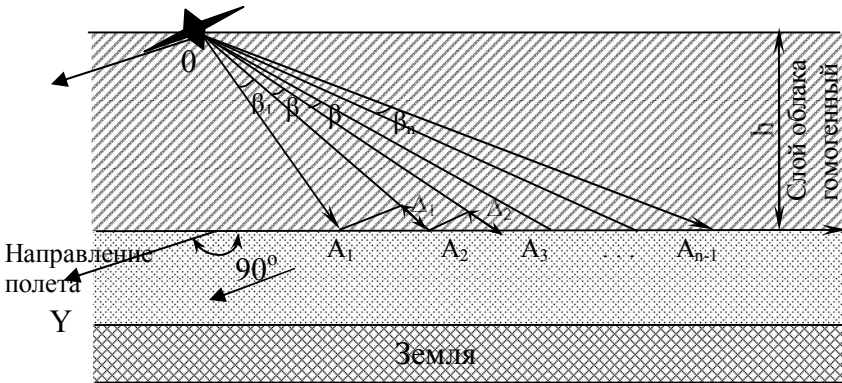


Рис. 7. Графическое представление процесса определения ослабления сигнала радара.

Допустим, что измерение средней мощности, отраженных с точек $\{A_i\}, i = \overline{1, n}$ сигналов производится на двух расстояниях R_j и R_{j+1} , где $j = \overline{1, (n-1)}$; $R_j = OA_j = R_1$; $R_{j+1} = OA_{j+1} = R_2$.

Допустим, что радар работает на двух длинах волн: λ_1 и λ_2 . В этом случае можем составить систему уравнений:

$$P(\lambda_1)[ДБ] = 10 \cdot l g \left(\frac{Z_{11} \cdot R_2^2}{Z_{21} \cdot R_1^2} \right) + 2(R_2 - R_1) \cdot \alpha_{t1}(R_1, R_2), \quad (23)$$

$$P(\lambda_2)[ДБ] = 10 \cdot l g \left(\frac{Z_{12} \cdot R_2^2}{Z_{22} \cdot R_1^2} \right) + 2(R_2 - R_1) \cdot \alpha_{t2}(R_1, R_2), \quad (24)$$

где вторые индексы показывают длину волны.

При условии $\alpha_{i1}(R_1, R_2) \gg \alpha_{i2}(R_1, R_2)$, получим

$$\alpha_{i1}(R_1, R_2) = \frac{\left[P_1 - P_2 + 10 \cdot l g \left(\frac{Z_{11} \cdot Z_{22}}{Z_{12} \cdot Z_{21}} \right) \right]}{2(R_2 - R_1)}. \quad (25)$$

В предложенном варианте путем соответствующего геометрического выбора углов $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ (рис. 7) и соответственно тому точек $\{A_i\}, i = \overline{1, n}$ на поверхности земли, гарантируется равенство отрезков Δ_i .

В этом случае для относительной оценки ослабления в точках $\{A_i\}, i = \overline{1, n}$ достаточно использовать числитель выражения (25), который в общем виде выражается следующим образом

$$2(R_2 - R_1) \cdot \alpha_{i1}(R_i, R_{i+1}) = \left[P_i - P_{i+1} + 10 \cdot l g \left(\frac{Z_{i,1} \cdot Z_{i+1,2}}{Z_{i,2} \cdot Z_{i+1,1}} \right) \right]. \quad (26)$$

Таким образом, выигрыш в предлагаемом способе оценки ослабления состоит из исключения операции деления выражения (25) на общий знаменатель $2(R_2 - R_1)$.

Далее в пятой главе изложен предложенный аппаратный способ коррекции геометрических искажений для систем сбора и обработки аэрокосмических данных, возникающих при отклонениях носителя от горизонтальной направленности полета. В предложенном техническом решении, защищенном авторским свидетельством, использован специальный вычислительный блок, реализующий корректирующие алгоритмы, позволяющие оперативно оценить исследуемый объект непосредственно на борту носителя и тем самым разгрузить каналы телеметрии.

Также предложен метод определения местонахождения морского корабля с помощью геостационарных спутников в квазиреальном масштабе времени. В этом методе имея сведения о координатах как минимум двух спутников можно вычислить местонахождение морского корабля. Показано, что конвейерная организация необходимых при этом вычислений позволяет значительно сократить

требуемое время для решения задачи от 1,5 минут до 2 миллисекунд при реализации вычислителя на базе ТТЛ логики.

Шестая глава диссертационной работы посвящена разработке гидрофизической буйковой системы для измерения температуры поверхностного слоя водоемов. Здесь также изложены вопросы построения элементов и узлов систем дистанционного зондирования, защищенных авторскими свидетельствами. Ниже приводится краткое изложение технических решений, защищенных авторскими свидетельствами.

Предложен новый способ повышения точности измерения температуры поверхностного слоя морей с помощью гидрофизической буйковой системы, заключающийся в исключении съема измерительной информации с термопреобразователей путем детектирования аномального волнения морской поверхности с помощью волнографа и отключения сигналов датчиков с измерительной схемы при больших волнениях моря.

Предложен новый способ построения автоматической буйковой системы гидрологического зондирования, заключающийся в реализации принципа принудительного подъема зонда при помощи лебедки и троса для исключения влияния таких факторов как течение, биологическое обрастание, коррозия.

Предложены способы построения систем сбора, передачи и обработки гидрофизической телеизмерительной информации, где введение цифрового анализатора позволяет существенно сжать информацию, необходимую для восстановления измеряемой функции изменения гидрофизических параметров по глубине, осуществляя адаптивное изменение частоты опроса в зависимости от скорости изменения измеряемого параметра.

Предложена функциональная схема модели проблемно-ориентированного конвейерного процессора с программно-перестраиваемой конфигурацией для бортовой обработки многозональных изображений в поточном режиме.

Предложены новые способы построения адаптивных аналого-цифровых преобразователей для системы сбора и обработки гидрофизической информации.

Предложен способ построения логарифмического преобразователя для информационно-измерительных систем с атмосферными каналами передачи информации. По сравнению с

существующими аналогичными устройствами предложенный логарифмический преобразователь обладает более высокой точностью воспроизведения логарифмической зависимости за счет дополнительно введенной цифро-аналоговой и аналого-цифровой обработки сигнала.

Предложен способ построения устройства для определения экстремальной величины измерительных сигналов, в котором используется принцип накопления в счетчике импульсов, количество которых прямо пропорционально значению входного сигнала. При этом оперативное управление переключением счетчика между режимами «прямой счет» и «обратный счет» позволяет увеличить динамическую точность функционирования устройства.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Сформулирован принцип мультисенсорного космического дистанционного зондирования. Предложена классификация и табличный синтез возможных вариантов реализации мультисенсорного космического дистанционного зондирования. Осуществлена оптимизация мультисенсорного дистанционного зондирования с применением предложенных обобщенных диаграмм Вороного, а также оптимизационная классификация многокомпонентных объектов дистанционного зондирования методом уменьшения размерности.

2. Сформирован подкласс систем, в который включены системы позиционирования, системы локации и системы дистанционного зондирования. Предложена информационная модель сформированного подкласса систем, осуществлена ее оптимизация и синтезированы оптимальные режимы функционирования указанных типов систем.

3. Разработан способ измерения оптических параметров рассеяния аэрозоля с помощью трех малых спутников в групповом полете, а также сравнительный метод калибровки бортовых спектрорадиометров, осуществляющих такие измерения.

4. На основе существующего метода оптимизации функционирования группы малых спутников в совместном полете предложен новый показатель – потенциал космической системы съема информации. На базе этого показателя решена математическая задача

оптимизации основных показателей системы при неизменности заданной приоритетности съема изображений.

5. Предложена новая концепция мультисенсорного дистанционного зондирования, предусматривающая взаимосвязь элементов мультисенсорного спутникового зондирования с параллельно функционирующей подспутниковой системой многоуровневой калибрации.

6. Предложена схема оптимального многосенсорного измерения поверхностной температуры моря на основе обнаружения минимума в зависимости суммарной погрешности многосенсорных измерений от величины отношения расстояния от спутника до буя к высоте полета спутника.

7. Построена информационная модель двухсенсорного мониторинга оптической толщины атмосферного аэрозоля, оптимизация которой позволила определить оптимальные алгоритмы функционирования системы.

8. Предложена классификация систем управления группой БПЛА, оптимизирован режим управления групповым полетом БПЛА по критерию суммарной пропускной способности. Вычислены экстремальные информационные характеристики различных сценариев проведения дистанционного зондирования одиночными и парными БПЛА при изменяющейся высоте и при встречно-противофазной траектории полета.

9. Сформулирована и решена задача устранения влияния затухания на величину выходного сигнала в беспроводной оптической связи, установленной в группе между БПЛА, осуществляющими совместное дистанционное зондирование. Получено выражение для вычисления максимально допустимого расстояния между парой БПЛА при известных высотах полета, скорости и направлении ветра.

10. Предложено параметрическое преобразование исходных данных фотометрических атмосферных измерений, создающее определенные преимущества при обработке результатов фотометрических измерений.

11. Обобщен известный метод измерения оптической толщины облаков с использованием радиационного двухспектрального потока с подстилающего вегетационного покрова. Доказана теорема, согласно которой известный нормализованный дифференциальный облачный индекс всегда меньше или равен значению нормализованного

дифференциального вегетационного индекса. Синтезированы обобщенные прямые и инверсные вегетационные индексы для реализации предложенного обобщенного метода.

12. Разработан метод и алгоритм автоматической коррекции временной деградации элементов сенсоров в многоволновых фотометрах. Разработан трехволновой метод солнечного фотометрирования с двухпараметрической коррекцией, в котором отсутствует необходимость решения системы линейных уравнений для вычисления коэффициентов коррекции.

13. Разработаны усовершенствованный способ определения метеорологических параметров с помощью самолетного микроволнового радара бокового обзора, в котором минимизировано количество необходимых выполняемых операций, аппаратурный способ коррекции геометрических искажений для систем сбора и обработки аэрокосмических данных, возникающих при отклонениях носителя от горизонтальной направленности полета, а также способ определения местонахождения морского корабля с помощью двух геостационарных спутников в квазиреальном масштабе времени.

14. Предложены различные технические решения типовых задач по повышению точности, эффективности и информативности функционирования буйковой системы, защищенные 13 авторскими свидетельствами.

Результаты исследований приведены в следующих публикациях:

1. А.С. 820110 В63В21/52. Исмаилов Т.К., Аллахвердов Ф.М., Исмаилов К.Х., Каллиников Ю.В. и Агаев Ч.Д. Автоматическая буйковая система гидрологического зондирования. 1979.
2. А.С. 867199 G08C 19/28. Исмаилов Т.К., Аллахвердов Ф.М., Исмаилов К.Х., Каллиников Ю.В., Вартапетов Э.А., Кремков С.И., Аносов В.С. и Лисенков С.Р. Система для передачи телеизмерительной информации. 1981.
3. А.С. 922861 (51) М. G08C19/28. Исмаилов Т.К., Аллахвердов Ф.М., Исмаилов К.Х., Каллиников Ю.В., Кремков С.И., Аносов В.С. и Лисенков С.Р. Система для передачи телеизмерительной информации. 1982.
4. А.С. SU 1027532 А G01K/14; 01K7/16. Исмаилов Т.К., Аллахвердов Ф.М., Исмаилов К.Х. и Животовский И.З.

- Устройство для измерения температуры поверхностного слоя воды. 1983.
5. А.С. SU 1174938 А G 06 F 15/20. Исмаилов Т.К., Исмаилов К.Х., Мамедов Ф.А., Гадживердиев А.З., Искендеров М.М. и Винтаев В.Н. Устройство для сбора и обработки данных аэрокосмических измерений. 1985.
 6. А.С. SU 1240234 А G 08 С17/00. Исмаилов Т.К., Ходарев Ю.К., Гамидов В.В., Аллахвердов Ф.М., Непоклонов Б.В., Бекиров Э.М., Тагиев Р.А., Исмаилов К.Х., Меджидов Д.Б., Каллиников Ю.В., Азимов З.А. и Асадов Г.А. Система для передачи телеизмерительной информации. 1984.
 7. А.С. СССР 903866. Исмаилов Т.К., Аллахвердов Ф.М., Непоклонов Б.В., Исмаилов К.Х., Гадживердиев А.З., Винтаев В.Н., Мамедов Ф.А. Конвейерное множительное устройство. 1981.
 8. А.С. SU 1043642А. G 06F 7/52. Исмаилов Т.К., Аллахвердов Ф.М., Непоклонов Б.В., Исмаилов К.Х., Гадживердиев А.З., Винтаев В.Н., Мамедов Ф.А., Бадалов А.Р. Конвейерное множительное устройство. 1983.
 9. А.С. СССР № 864552 кл. H03K/13/02/. Исмаилов Т.К., Аллахвердов Ф.М., Исмаилов К.Х., Каллиников Ю.В., Кремков С.И., Аносов В.С., Лисенков С.Р. Адаптивный аналого-цифровой преобразователь. 1981.
 10. А.С. СССР № 866734 кл. H03K/13/20. Исмаилов Т.К., Аллахвердов Ф.М., Исмаилов К.Х., Каллиников Ю.В., Кремков С.И., Аносов В.С., Лисенков С.Р. Адаптивный аналого-цифровой преобразователь. 1981.
 11. А.С. СССР № 875622, кл. H03K/13/20. Исмаилов Т.К., Аллахвердов Ф.М., Исмаилов К.Х., Каллиников Ю.В. Адаптивный аналого-цифровой преобразователь. 1981.
 12. А.С. СССР № 1042035 А. кл. G06 G7/24. Ильканаев Г.И., Степанова И.Г., Хартумов Г.-М.Ш., Исмаилов К.Х. Логарифмический преобразователь. 1983.
 13. А.С. СССР № 1425602 А1 кл. G 05 В13/02. Гавриш А.И., Исмаилов К.Х., Шваченко И.И., Лебедев О.И. Устройство для определения экстремальных значений электрических сигналов. 1988.
 14. Абдуллаев В.Э., Исмаилов К.Х., Винтаев В.Н., Сосунов Г.А. Определение местонахождения корабля с геостационарных

- навигационных спутников в квазиреальном масштабе времени // Известия Академии Наук Азербайджанской ССР, Серия физико-технических и математических наук, 1985, № 1, с. 96-102
15. Алиева М.А., Винтаев В.Н., Исмаилов К.Х. Моделирование архитектуры бортового процессора с проблемной ориентацией // Исследование Земли из космоса. 1987, № 2, с. 112-117.
 16. Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х. Дискретно-линейное параметрическое преобразование в атмосферной фотометрии // Фотоника, М., 2011, № 5, с. 46-48.
 17. Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х., Керимов М.Д. Вопросы организации лазерной линии передачи данных дистанционного зондирования между беспилотными летательными аппаратами // Специальная техника, М., 2011, № 3, с. 34-38.
 18. Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х. Информационный метод позиционирования объектов // Информационные технологии, М., 2011, № 9, с. 37-39.
 19. Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х. Вопросы группового экологического дистанционного зондирования с многоуровневой калибрацией. Актуальные проблемы экологии и охраны труда / Сборник статей IV международной научно-практической конференции. Курск, 2012, с. 14-18.
 20. Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х. Оптимизация группового дистанционного экологического зондирования беспилотными летательными аппаратами. Актуальные проблемы экологии и охраны труда / Сборник статей IV международной научно-практической конференции. Курск, 2012, с. 18-22.
 21. Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х. Усовершенствованный метод трехволнового солнечного фотометра / Труды XII международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». СИЭТ 2011, Одесса, с. 341.
 22. Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х., Ибрагимов Э.А. Вопросы измерения компонентов системы «Вегетация – облачность» в районе аэропортов // Измерительная техника, М., 2012, № 4, с. 32-34 (статья переведена на английский язык и опубликована в журнале Measurement Techniques, 2012, Vol. 55, No. 4-Springer.link, pp. 421-424).

23. Исмаилов К.Х. Оптимизация группового дистанционного зондирования, осуществляемого парой беспилотных летательных аппаратов // Авиакосмическое приборостроение, М., 2011, № 3, с. 32-35.
24. Исмаилов К.Х. Оптимизационный метод классификации и уменьшения размерности параметров многокомпонентных физических объектов при дистанционном зондировании // Инженерная физика, М., 2010, № 12, с. 15-17.
25. Исмаилов К.Х. Оптимизация многоуровневого дистанционного контроля с помощью группы беспилотных аппаратов // Специальная техника, М., 2011, № 2, с. 40-43.
26. Исмаилов К.Х. Вопросы построения лазерной беспроводной связи в группе беспилотных летательных аппаратов дистанционного зондирования // Специальная техника, М., 2011, № 1, с. 22-25.
27. Исмаилов К.Х. Метод группового дистанционного зондирования малых газов атмосферы с помощью БПЛА в аэрозольной среде с параметрически конкурируемыми дисперсными компонентами // Специальная техника, М., 2011, № 4, с. 42-44.
28. Исмаилов К.Х., Джавадов Н.Г., Гашимов Дж.Г. Способ определения метеорологических параметров с помощью микроволнового радара бокового обзора // Авиакосмическое приборостроение, М., 2011, № 8, с.8-10.
29. Исмаилов К.Х. Усовершенствованный метод трехволнового солнечного фотометрирования // Инженерная физика, М., 2011, № 9, с. 39-41.
30. Исмаилов К.Х. Усовершенствованный метод трехволнового солнечного фотометрирования /Internationale Scientific Conference “Modern Issues of Applied Physics” Abstract Digest, Tbilisi, 2011, pp. 36-38.
31. Исмаилов К.Х. Метод автоматической коррекции погрешности сенсорного узла многоволновых солнечных фотометров // Контроль. Диагностика. М., 2011, № 12, с. 59-62.
32. Исмаилов К.Х. Адаптивно-централизованный принцип оптимального управления групповым полетом БПЛА // Специальная техника, М., 2012, № 1, с. 45-49.
33. Исмаилов К.Х., Ахундова Т.А., Аббасова Э.С., Меджидова В.К. Оптимизация серий мультиспектральных измерений атмосферы в

- морской среде в условиях ветра // Альтернативная энергетика и экология, М., 2012, № 1, с. 169-171.
34. Исмаилов К.Х. Метод оптимизации группового дистанционного зондирования беспилотными летательными аппаратами // Специальная техника, М., 2012, № 2, с. 53-56.
 35. Исмаилов К.Х., Гадживердиев А.З., Мириева Н.С. Организация оптимальных программ сбора данных в бортовых АСНИ. Всесоюзная конференция. Методы и средства дистанционного зондирования земли и обработка космической информации в интересах народного хозяйства. Тезисы докладов. Часть 1. Рязань, 1989, с. 62-63.
 36. Исмаилов К.Х. Принцип мультисенсорного космического дистанционного зондирования. Варианты реализации. Классификация и табличный синтез возможных вариантов реализации // Альтернативная энергетика и экология, 2013, № 1, (часть 2), с. 148-152.
 37. Исмаилов К.Х., Винтаев В.Н., Алиева М.А. Эюбов Ф.Ф. Организация оптимального распараллеливания конвейерной многопроцессорной вычислительной системы / Труды Всесоюзной школы-семинара «Распараллеливание обработки информации», Львов, 1987, 18-23 мая, с. 20.
 38. Исмаилов К.Х., Стоялов М.Н., Васильюк О.И., Петросян В.А. Система анализа и распознавания изображений в пространстве Радона / Тезисы докладов. Четвертая Всесоюзная Конференция «Математические методы распознавания образов». Рига, 1989, Часть 4, с. 92-94.
 39. Исмаилов К.Х., Камбаров А.Ю. Метод экспресс анализа аэрокосмической информации для бортовой системы распознавания образов. II Республиканский Семинар «Проблемы создания систем обработки, анализа и распознавания изображений. / Тезисы докладов. Ч.1, Ташкент, 1989, с. 131-132.
 40. Исмаилов К.Х. Построение информационной модели многосенсорных систем мониторинга окружающей среды // Альтернативная энергетика и экология, 2012, № 10, с. 81-83.
 41. Исмаилов К.Х., Джамалов А.Т. Оптимизация многосенсорного спутникового измерения температуры поверхности моря в инфракрасном диапазоне // Альтернативная энергетика и экология, 2012, № 9, с. 170-173.

42. Мехтиев А.Ш., Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х. Вопросы использования групповых полетов малых спутников для проведения аэрозольных измерений // Авиакосмическое приборостроение, М., 2012, № 1, с. 35-38.
43. Мехтиев А.Ш., Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х. Вопросы проведения аэрозольных измерений с использованием групповых полетов малых спутников // Космические исследования, М., 2013, т. 51, № 5, с. 436-440 (статья переведена на английский язык и опубликована в журнале *Cosmic Research*, 2013, Vol. 51, No. 5, pp. 396-399).
44. Мехтиев А.Ш., Асадов Х.Г., Исмаилов К.Х. Общая концепция группового дистанционного зондирования с многоуровневой калибрацией // Альтернативная энергетика и экология, 2012, № 4, с. 150-153.
45. Asadov H.H., Ismaylov K.Kh. Information method for synthesis of optimal data subsystems designated for positioning, location and remote sensing systems. Positioning, USA, 2011, doi: 10.4236/pos.2011.2100, pp. 61-64.
<http://www.scrip.org/journal/pos>.
46. Asadov H.H., Aliyeva Y.H., Bayramova I.A., Ismaylov K.Kh. New Method of Multi-level Optimization. Proceedings of 8th IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS 2010). St. Petersburg, Russia, September 17-20, 2010, p. 319-321.
47. Mehdiyev A.Sh., Asadov H.H., Ismaylov K.Kh., Javadov N.H. Optimization of Multi-Level Cooperative Remote Sensing Using Carriers Flying on Counter – Phase Trajectories // Positioning, 2011, No. 2, pp. 150-152.
48. Mehdiyev A.Sh., Asadov H.H., Ismaylov K.Kh. Optimization of Multi-level Cooperative Remote Sensing Carried out by Couples UAV for Space Data Validation Purposes. CALCON Technical Conference. 2011, August 29-September 1, Utah state University, Logan, Utah, USA.
49. Mehdiyev A.Sh., Asadov H.H., Ismaylov K.Kh. Use of formation flight of small satellites for aerosol measurements. Submitted to XII International Society for Photogrammetry & Remote Sensing Congress. Melbourne, Australia, 25 August – 1 September, 2012.

Xülasə

Ətraf mühitin aerokosmik monitorinqinin multisensor sistemləri

İsmayılov K.X.

Məsafədən zondlamanın multisensor prinsipi əsasında ətraf mühitin aerokosmik monitorinq məsələləri tədqiq edilmişdir. Multisensor zondlamada tətbiq edilmək üçün Voronoyun ümumiləşdirilmiş diaqramları təklif edilir. Çoxkomponentli obyektlərin optimallaşdırma yolu ilə təsnifatı və ölçülərinin azaldılması metodu təklif edilir. Məsafədən təsir göstərən sistemlərin ümumi təsnifatı verilir.

Məsafədən zondlamanın effektivlik kriteriyası formulə edilmiş aşağıdakı üsul və metodlar təklif olunmuşdur: kiçik peyklərin radiometrik aparaturası vasitəsilə aerozolun səpələnmiş parametrlərinin ölçmə üsulu; kosmik sistemin işləməsi imkanlarını xarakterizə edən informasiyanın götürülməsi göstəricisi – sistemin potensialı; çoxsəviyyəli kalibrasiyaya malik olan multisensor zondlama konsepsiyası; buraxma qabiliyyəti kriteriyasına görə PUA (pilotsuz uçuş aparatı) qrup uçuşunun optimallaşdırılması; rəqabətli parametr göstəricilərinə malik olan aerozol mühitində kiçik qazların qrup halında məsafədən zondlanması; lazer çoxkanallı sistemdə çıxış signalının kanalın uzunluğundan asılılığının kompensasiyası; fotometrik atmosfer ölçmə verilənlərinin parametrik çevrilməsi; atmosfer spektrometrik ölçmələrin nəticələrinə dəniz duz aerozolunun təsirinin minimallaşdırılmasına dair optimallaşdırma məsələsinin həlli; yer səthi vegetasiya örtüyündən gələn radiasiya axınının köməyi ilə buludların optik qalınlığının ölçmə metodu.

Sistemdə istifadə edilən qurğulara dair bir sıra üsullar təklif edilir: fotometrlərdə sensorların zamana deqradasiyasının avtomatik korreksiyası; ikiparametrlı korreksiya ilə təkmilləşdirilmiş üçdalğalı metod; yan görünüşlü radar vasitəsilə meteoroloji parametrlərin təyini üsulu.

Validasiya üçün tətbiq edilən buy (dəniz signal üzgəci) ölçmələri verilənləri və dəniz səthi temperaturunun məsafədən ölçmə nəticələrinin cəm xətlərinin ekstremal xüsusiyyəti aşkar edilib. Müəllif şəhadətnamələri ilə təsdiqini tapmış dəniz buy stansiyalarının işlənməsi və təkmilləşdirilməsi üzrə çoxlu sayda texniki həllər təklif edilmişdir.

Summary
Multisensor systems of aerospace monitoring of environment
Ismaylov K.Kh.

The questions on aerospace monitoring of environment on the basis of principle of multisensor remote sensing are researched. The generalized diagrams of Voronoy are suggested for multisensor sensing. The optimization method for classification and dimension decreasing concerning the multi-component objects is suggested. The general classification of remote action systems is given.

The criterion of remote sensing systems' effectiveness is formulated. Following methods and technics are suggested: the method for measuring of parameter of aerosol scattering using radiometry instruments of small satellites; the parameter of space information gathering system – the systems potential, characterizing the capability of the systems functioning; concept of multisensor sensing with multilevel calibration; optimization of formation flight of UAV-s on criterion of capacity; multi-sensor remote sensing of low gases in aerosol media featured with concurrent parameters; compensation of dependence of output signal on the channel length in multi-channel system of laser optic atmospheric communication; parametric transformation of data of photometric atmospheric measurements; solution of optimization task of minimization of effect of sea salt aerosol on results of atmospheric spectrometric measurements; the method for measuring of the clouds optical depth using radiation emitted from the ground vegetation layer. Following methods for measuring and correction are suggested; automatic correction of the temporal degradation of sensors and photometers; the modified three wavelengths method with two-parametric correction; the method for determination of meteorology parameters by help of side looking radar.

The extremum property of the total error of remote measuring of SST and validation of results by help of buoy measurements data are revealed. Many technical colutions concerning development and modification of sea stations are suggested and confirmed with invention certifications.

**“AZƏRBAYCAN HAVA YOLLARI”
QAPALI SƏHMDAR CƏMİYYƏTİ
MİLLİ AVİASIYA AKADEMİYASI**

Əlyazması hüququnda

KAMAL XEYRƏDDİN OĞLU İSMAYILOV

**ƏTRAF MÜHİTİN AEROKOSMİK MONİTORİNQİNİN
MULTİSENSOR SİSTEMLƏRİ**

3324.07 – “Məsafədən aerokosmik tədqiqatlar” ixtisasında
texnika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Bakı – 2013