

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики

Тема УПРАВЛЕНИЕ Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов
Гос. регистрация № 01.20.03 03442

Научный руководитель д.т.н. Р.Р. Назиров

Раздел 5.1. Математические модели планирования космических экспериментов
Отв. исп. д.ф.-м.н. А. С. Ковалева

1. Разработка методов анализа и управления сложными механическими системами. Исследование возможностей гашения нежелательных колебаний в системах переменной структуры при ударном воздействии.

Исследованы возможности подавления нежелательных колебаний в сложных механических системах. Установлены условия возникновения туннелирования (необратимого переноса энергии) в многомерных системах переменной структуры. Исследовано развитие авторезонанса (устойчивого движения с монотонно возрастающей средней амплитудой колебаний) в нелинейных осцилляторах и впервые вычислены амплитуды авторезонанса.

в.н.с., д.ф.-м.н. А. С. Ковалева, agnessa_kovaleva@hotmail.com, отд. 58

2. Оптимизация управления космическими аппаратами в задачах полета в окрестности коллинеарных точек либрации.

Проведены исследования по оптимизации управления космическими аппаратами в окрестности солнечно-земных коллинеарных точек либрации. При этом учитывались ограничения по условиям видимости с наземных пунктов управления и приема телеметрической информации с космических аппаратов и возможностям наведения антенн аппарата на наземные станции. Были разработаны удовлетворяющие этим требованиям сценарии и алгоритмы управления аппаратом, включая программы выполнения коррекций поддержания аппарата на орбите в окрестности точки либрации.

*в.н.с., к.т.н. Эйсмонт Н.А., тел. (495)333-10-78, E-mail: neismont@iki.rssi.ru
м.н.с. Ледков А.А., отд. 58*

3. Оптимизация управления малыми астероидами в задачах перехвата опасных околоземных объектов.

Разработаны и протестированы алгоритмы и математические программы для проектирования миссий по перехвату опасных околоземных объектов. Проведен выбор астероидов, пригодных для использования в качестве снарядов для отклонения опасных объектов от столкновения с Землей. Разработаны методы, позволяющие обеспечивать требуемую для решения таких задач точность.

*в.н.с., к.т.н. Эйсмонт Н.А., тел. (495)333-10-78, E-mail: neismont@iki.rssi.ru
глав. спец. Боярский М.Н., м.н.с. Ледков А.А., к.ф.-м.н. Федяев К.С., отд. 58*

4. Исследование возможностей использования астероидов как источников природных ресурсов.

Разработаны методы захвата околоземных астероидов на орбиты, резонансные с орбитой Земли. Показана возможность многократных гравитационных маневров у Земли таких астероидов. Эти маневры, как было проверено конкретными расчетами, можно проводить многократно, результатом чего является возможность последующего за захватом управления параметрами орбиты астероида.

*в.н.с., к.т.н. Эйсмонт Н.А., тел. (495)333-10-78, E-mail: neismont@iki.rssi.ru
глав. спец. Боярский М.Н., м.н.с. Ледков А.А., отд. 58*

5. Разработка методов и алгоритмов планирования экспериментов на борту низкоорбитальных спутников.

Разработаны методы и алгоритмы планирования экспериментов на борту низкоорбитальных спутников на примере микроспутника «Чибис», позволяющие строить оптимальные режимы работы научной аппаратуры в условиях ограничений по электропитанию и возможностям приема телеметрической информации. Эти методы внедрены в практику управления микроспутником.

*в.н.с., к.т.н. Эйсмонт Н.А., тел. (495)333-10-78, E-mail: neismont@iki.rssi.ru,
м.н.с. Ледков А.А., отд. 58*

6. Применение качественной теории возмущений орбит ИСЗ под влиянием внешних гравитационных возмущений и возмущений от сжатия Земли для разработки методов выбора орбит ИСЗ с учетом времени их баллистического существования.

Применение качественных методов теории возмущений позволило перебросить мост между теорией и практикой, в частности, при исследовании особенностей эволюции высокоапогейной орбиты ИСЗ Спектр-Р. Описанию эволюции орбиты Спектр-Р посвящена статья нескольких авторов, опубликованная в журнале *Космические Исследования*.

Как известно, прогноз эволюции орбиты Спектр-Р под влиянием внешних гравитационных возмущений показал угрозу падения спутника на Землю в конце первого периода вековой эволюции орбиты (в конце 2013 года). Эта угроза была успешно преодолена путем коррекции орбиты, задача выбора которой была решена алгоритмическим путём и успешно выполнена в 2012 году. С этим успехом можно поздравить ИПМ РАН, КБ им. Лавочкина и всех участников проекта, однако этот успех не следует считать поводом для успокоения, а скорее поводом для обсуждения сложившегося стереотипа запусков ИСЗ на высокоапогейные орбиты. Следует подчеркнуть, что далеко не всякую орбиту можно успешно корректировать.

Различным аспектам проблемы, связанной с коррекцией орбиты ИСЗ Спектр-Р, и проблемы выбора высокоапогейных орбит с учетом их вековой эволюции посвящена работа В.И. Прохоренко, которая находится на стадии публикации в журнале *Космические Исследования*.

Дальнейшая разработка и исследование методов выбора орбит ИСЗ, основанных на качественной теории возмущений, нашли свое отражение в статье, подготовленной для публикации в журнале в Научно-техническом журнале ЦНИИМАШ «Космонавтика и Ракетостроение»

В рамках разработки и исследования методов выбора орбит ИСЗ с учетом их вековой эволюции рассматривалась задача, связанная с исследованиями баллистических аспектов проблемы возможности запуска субспутника на заданную высокоапогейную орбиту и поддержания субспутника в окрестности основного спутника. Предварительные результаты этих исследований нашли свое отражение в тезисах доклада, посланного на Академические чтения 2014.

В связи с исполнением в 2014 году 100-лет со дня рождения Павла Ефимовича Эльясберга, подготовлены тезисы доклада на Академические чтения. В состав авторского коллектива вошли ученики и соратники Павла Ефимовича.

с.н.с., к.ф.-м.н. В.И. Прохоренко, vprokhorenko@mail.ru, к.ф.-м.н. Федяев К.С., отд. 58

7. Баллистическое обеспечение эксперимента Плазма–Ф на борту КА СПЕКТР-Р.

Для навигационного обеспечения ежемесячного планирования эксперимента Плазма-Ф регулярно проводятся расчеты орбиты КА СПЕКТР-Р, исходя из начальных условий, получаемых в ИПМ РАН в результате обработки траекторных измерений орбиты. Результаты орбитальных расчетов и ситуационного анализа регулярно поступают на сайт ИКИ РАН и доступны для группы управления по адресу http://ftp.plasma-f.cosmos.ru/orbit/campaign/p_pf_flg/camp1.htm

*с.н.с., к.ф.-м.н. В.И. Прохоренко, vprokhorenko@mail.ru, тел. (495)333-50-45
ведущий специалист Н.П. Беляева, nbelyaeva@rambler.ru, отд.58*

Определение ориентации научных приборов эксперимента Плазма-Ф в солнечно-эклиптической системе.

В рамках проекта Спектр-Р (эксперимент Плазма-Ф) продолжалась работа по определению ориентации научных приборов МЭП и БМСВ в солнечно-эклиптической системе GSE. Знание ориентации приборов используется при анализе их данных. Результаты определения ориентации

представлены в виде матриц, выполняющих переход в систему GSE из систем КА и БМСВ. Матрицы размещаются на сервере ИКИ РАН.

Разработана методика, позволяющая существенно уточнить значения углов поворота солнечной панели, предоставляемые НПО им. Лавочкина. Поскольку на панели расположен прибор БМСВ, это дает возможность точнее определить его ориентацию в системе GSE.

*в.н.с., к.т.н. Эйсмонт Н.А., тел. (495) 333-10-78, E-mail: neismont@iki.rssi.ru
ведущий математик Рязанова Е.Е, E-mail: eryazan@gmail.com, оид.58*

8. Разработка математических моделей формоизменения упругопластических деформаций при комплексном и локальном, силовом и температурном воздействии на сплошную среду. Оценка влияния температурных напряжений на ледяной покров океана Европы.

Построены математические модели и прогнозы формоизменения титановых сплавов при реализации технологий изготовления ответственных изделий. Решены задачи оценки влияния температурных и приливных напряжений на ледяной покров океана Европы. Решены некоторые задачи оценки и оптимизации траекторных характеристик космических миссий, использующих гравитационные маневры у массивных тел.

Аксенов С.А., тел. (495) 333-24-33

9. Расчеты параметров течения металла при последовательном локальном деформировании.

Завершена работа над ядром системы расчета параметров течения металла при локальном деформировании. Решены некоторые задачи анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) ледяного покрова Европы (спутник Юпитера) в результате приливного воздействия с применением пакетов SolidWorks и MSC Nastran.

Бобер С.А., тел. (495)333-24-33

10. Продолжение выполнения расчетов, связанных с дискретным представлением непрерывных объектов сложных пространственных форм, методом конечных элементов.

Математическое моделирование и конечно-элементный анализ локально однородных композитных конструкций с помощью системы твердотельного моделирования SolidWorks и системы инженерного анализа SolidWorks/COSMOSWorks и систем конечно-элементного анализа Nastran и Patran. Анализ существующих вариантов несъемных конструкций протезов для временного замещения дефекта зубного ряда. На упрощенной модели «протез-имплантаты-челюсть» проведен расчет и сравнение прочности конструкции при различных вариантах расстановки временных имплантатов. Для модели из трех постоянных и трех временных имплантатов изготовили физический прототип при помощи 3D-принтера ZPrinter® 650 фирмы 3DSYSTEMS.

Обзор работ, посвященных моделированию влияния различных факторов на организм человека в космическом полете, связанных с динамикой полета (ускорения, вибрация, шум, невесомость), пребыванием в герметичном помещении ограниченного объема (измененная газовая среда, гипокинезия, нервно-эмоциональное напряжение и т.д.), а также факторы космического пространства как среды обитания (космическое излучение, ультрафиолетовое излучение и др.), влиянием высоких и низких температур в условиях полета). Изучение теоретических концепций математического описания функций легких, сердечно-сосудистой системы, моделирования динамики внутричерепного давления при невесомости и в реальном космическом полете, нарушения минерального обмена костной ткани, биомеханики позвоночника при ударных перегрузках в практике авиационных и космических полетов, моделирования манекенов для краш-тестов с целью оценки возможности применения конечно-элементного моделирования в системах Nastran, Patran, SolidWorks для моделирования влияния факторов космического полета на организм человека.

Полякова Т.В. , тел. (495)333-24-33

11. Выполнение расчетов и анализ процессов протаивания ледяных структур.

Разработана методика моделирования процесса протаивания криоботом ледяных структур с использованием программного обеспечения, основанного на конечно-элементном анализе. Проведена верификация разработанной методики по экспериментальным данным. Получена оценка скорости перемещения криобота сквозь ледяной покров.

12. Построение орбитальных тросовых систем (ОТС) на трассе Земля - Луна без использования принципа рекуперации.

Рассмотрена часть проблемных вопросов построения трассы Земля – Луна, состоящей из орбитальных тросовых систем (ОТС). Результаты моделирования показывают, что затраты ракетного топлива и само функционирование трассы зависят от выбора конфигурации трассы и от параметров включённых в неё ОТС. В частности, представляется привлекательным для решения этих проблем установить на околоземной орбите всего одну ОТС. Но для выполнения своей функции это должна быть мощная ОТС, выполненная из новых материалов.

Проведённые ранее расчёты предполагают использование в качестве материала троса кевлар или торнел. Сделан обзор современных материалов, пригодных для изготовления тросов ОТС, и технических характеристик этих материалов. Представляется, что дальнейшим шагом в настоящей работе должно быть моделирование системы с использованием первого суперпрочного органического наноматериала, превышающего показатели стали и кевлара. Моделирование должно показать, возможна ли в настоящий момент конфигурация трассы с одной околоземной ОТС.

Проблемной является окололунная ОТС. Современные эксперименты показывают, что значительные возмущения в движении невысоких (несколько сот километров над поверхностью Луны) искусственных спутников Луны вызываются главным образом нецентральной силой тяготения Луны, обусловленной сложной формой Луны и неравномерным распределением вещества внутри неё. Это не может не сказаться на надёжности функционирования окололунной ОТС, один из концевых блоков которой по ранее принятой конфигурации трассы должен находиться всего в 1км от поверхности Луны (второй – на расстоянии 200км от поверхности). В связи с этим встаёт также вопрос о средствах, которые смогут выполнить посадку полезного груза на Луну и осуществить взлёт с Луны и контакт с концевым блоком окололунной ОТС.

к.ф.-м.н. Веселова Г.В.

13. Исследования нелинейной динамики систем испытывающих бифуркации при изменяющихся во времени параметрах и разработка методов управления такими системами

У нематического жидкого кристалла (нематика) длинные оси молекул ориентированы приблизительно параллельно друг другу, но центры тяжести молекул расположены произвольно, как в жидкости. Степень ориентационной упорядоченности нематика характеризуется величиной, которая называется параметром порядка S и имеет значение между 0 и 1, причем это значение сильно зависит от температуры. Так, при нагревании нематика ориентационный порядок разрушается: наступает ориентационное "плавление" и жидкий кристалл превращается в обыкновенную изотропную жидкость ($S=0$). Каждая из жидкокристаллических фаз существует только в ограниченном интервале температур, в окрестности критической температуры допускается метастабильность, когда обе фазы изотропная фаза и нематик сосуществуют. Фазовые переходы изотропная фаза – нематик интенсивно исследовались для случая квазистационарного изменения температуры. В этой работе мы исследуем неравновесную динамику, когда температурно-зависимый параметр изменяется во времени.

В рамках теории Ландау - де Жена мы рассматриваем фазовые переходы в термотропном нематическом жидком кристалле, степень упорядоченности которого определяется температурой. Нами получены оценки для критических температур в нематических жидких кристаллах при динамическом фазовом переходе, т.е. при изменяющемся во времени температурно-зависимом параметре. Квазистационарная теория предсказывает две критических температуры: температура переохлаждения, ниже которой изотропная фаза теряет устойчивость, и температура перегрева выше которой упорядоченное состояние не существует. В противоположность квазистационарной теории в развитой нами теории динамического перехода имеет место эффект затягивания критических температур. В случае нагревания (нематик - изотропная фаза) запаздывание потери устойчивости нематической фазы зависит от скорости изменения температурно-зависимого параметра. Наиболее значительный эффект наблюдается при охлаждении (изотропная фаза – нематик), когда запаздывание потери устойчивости изотропной фазы независимо от скорости изменения температуры, и зависит только от начальной температуры перехода.

В работе показано, как полученные оценки критических температур могут быть использованы для улучшения характеристик жидкокристаллического вещества при создании жидких кристаллов с заданными характеристиками.

В научном космическом приборостроении, когда необходимо учитывать экстремальные условия работы приборов в условиях космического эксперимента, уточнение диапазона критических температур нематических жидких кристаллов может повысить точность измерений и повысить надежность в системах обработки и отображения информации, дисплеях, буквенно-цифровые индикаторах, оптических затворах и других светоклапанных устройствах.

Работа выполнена в сотрудничестве с учеными из Mathematical Institute, University of Oxford & University of Bath, United Kingdom при финансовой поддержке University of Oxford.

Apala Majumdar, John Ockendon, Peter Howell and Elena Surovyatkina. Transitions through Critical Temperatures in Nematic Liquid Crystals. Phys. Rev. E, 88, 022501 (2013)

д. ф.-м. н. Е. Д. Суровяткина, т. (495)7440436, selen@iki.rssi.ru

Раздел 5.2. Интеллект. Телекоммуникационные технологии

Отв. исп. Боярский М.Н.

1. Информационная поддержка научно-организационной деятельности ИКИ в сети Интернет.

Проводилась разработка и оперативное обновление информации на веб-сайте института, включая представление годового отчета института, конкурсов научных работ, материалов аттестации научных сотрудников, информации аспирантуры, Ученого и диссертационных советов, в том числе видеозаписей заседаний диссертационных советов и других материалов. Освещались все значимые институтские события. Разработаны и функционируют сайты конференций, включающие системы регистрации участников, приема абстрактов и доступ к материалам докладов. Подготовлены и эксплуатируются следующие новые сайты:

1. Пресс-центр ИКИ РАН
2. Четвертый московский международный симпозиум по исследованиям Солнечной системы (4MS3)
3. Девятая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе"
4. X Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования"

Данные сайты были выполнены с использованием системы управления содержимым, выбранной для построения динамической версии веб-сайта института. Обеспечивалось функционирование и развитие аппаратной и программной частей серверов телематических служб института, включая почтовый сервер, Web-сервер, серверов службы доменных имен (DNS), FTP-сервер.

М.И.Шевченко ms@space.ru, М.Н. Боярский mb@rssi.ru, омд.58

2. Развитие системы хранения данных с высокой доступностью на базе платформы облачных вычислений для архива данных.

1. Создан и веден в эксплуатацию программно-аппаратный узел файлового архива на базе 3 серверов с общим объемом резервированного хранения 12 Терабайт. Надежность хранения определяется расположением каждого файла целиком на одном разделе жесткого диска в трех экземплярах на разных серверах;
2. Проведена установка и отладка программной составляющей GlusterFS, обеспечивающей функцию георепликации на сервер, размещенный отдельно от основного кластера Архива. Это дополнительно повысило надежность хранения данных и расширило возможности доступа к ним;
3. Проведена установка и тестирование встроенной в GlusterFS службы Unified File and Object Storage (UFO), позволяющей осуществлять доступ к хранимым в Архиве файлам как к объектам по протоколу, совместимому с OpenStack Object Storage (Swift).

Проводилось дальнейшее заполнение системы хранения имеющимися в ИКИ РАН научными данными космических проектов и выполнялось регулярное пополнение архива новыми данными проекта «Плазма-Ф». Система также использовалась для хранения и распределенного использования данных эфемерид и траекторных расчетов околоземных астероидов

М.И.Шевченко ms@space.ru, М.Н. Боярский mb@rssi.ru, otd.58

3. «Экспериментальный консолидированный высокопроизводительный вычислительный сегмент в центре обработки данных ИКИ РАН».

В течение 2013 года была подготовлена новая отказоустойчивая платформа для развертывания сервисов управления и мониторинга в ЦОД ИКИ РАН. Данная платформа включает распределенную систему хранения с механизмами прозрачной блочной репликации, кластерные технологии с механизмами автоматической миграции сервисов в случае аппаратных отказов, а также механизмы избыточности при подключении локальной сетевой инфраструктуре Института.

Система построена исключительно на базе свободно распространяемых программных продуктов с открытым исходным кодом.

Произведено тестирование платформы на предмет исключительных ситуаций, включающих отказ оборудования, потерю сетевой связности, сбой системных сервисов. Подобраны временные параметры, определяющие динамику реакции системы на исключительные ситуации.

В настоящее время на новую платформу переведены внутренняя система документооборота сетевого операционного центра сети «КОСМОС», система контроля версий для программных проектов сети «КОСМОС» а также часть функций по сбору и обработке данных сетевого трафика.

к.т.н. Коноплев В.В. E-mail V.Konoplev@rssi.ru

4. Управление полетом академического научного микроспутника Чибис-М

Управление академическим научным микроспутником Чибис-М, осуществлялось с помощью наземной инфраструктуры, включающей в себя:

- Распределенный Центр управления полетом.
- Средства планирования космических операций.
- Средства обработки, визуализации и хранения телеметрической информации.
- Средства информационного обмена.

При этом одновременно с решением задач по управлению микроспутником осуществлялась доработка наземного сегмента, его развитие и совершенствование. Среди наиболее значимых результатов, следует отметить, что впервые в отечественной практике была успешно реализована концепция распределенного Центра управления полетом. Поскольку в космических операциях проекта Чибис-М участвуют специалисты различных как отечественных, так и зарубежных научных организаций, данный подход позволил существенно повысить эффективность управления микроспутником на фоне минимизации финансовых и производственных затрат. Суть данного подхода основывается на идее «виртуального ЦУПа», когда все участники проекта используют единую информационную среду, обеспечиваемую средствами web-портала проекта, а для персонального общения применяются развитые средства телекоммуникации включая оперативную и видеоконференцсвязь.

Другим важным достижением является развитие системы экспресс-обработки телеметрической информации, обеспечивающую рекордную скорость отклика (< 1 сек. на запрос при $> 4 \cdot 10^9$ измерений), что в несколько раз превышает лучшие зарубежные аналоги.

Следует отметить, что созданная система планирования позволяет осуществить все циклы подготовки программ управления, включая такие рабочие этапы как долгосрочное, среднесрочное и краткосрочное планирование, а также оперативное управление.

Результаты работ по управлению научным микроспутником Чибис-М и развитию наземной инфраструктуры проекта представлены на различных международных научных конференциях.

Назаров В.В. vnazarov@romance.iki.rssi.ru

5. Создание инструментария для организации виртуальных научных рабочих групп

В соответствии с общепринятой терминологией (И.В. Попова; 2009) под виртуальным научно-исследовательским пространством подразумевается рабочая среда, не требующая наличия физического пространства для организации научно-исследовательской деятельности. Взаимодействие научных работников и/или их связь с коллегами в нём осуществляется по современным каналам связи с использованием достижений информационных технологий.

Представляется очевидным, что одним из ключевых факторов организации эффективных научных исследований является создание и поддержка научной кооперации, совместное проведение работ. Однако зачастую члены целевой научной группы являются представителями различных подразделений или даже различных организаций. При этом совместное обсуждение текущих вопросов и коллективный поиск решений требует определенных трудозатрат при использовании традиционного подхода.

Предлагаемый подход позволяет повысить эффективность проведения исследований не только за счет снижения необходимых ресурсов на подготовку и проведение совместных семинаров, но и за счет структуризации проводимых работ. За базовую платформу для создания инструментария для организации виртуальных научных рабочих групп было выбрано программное решение SharePoint, хорошо зарекомендовавшее себя для разработки систем автоматизации аналогичных рабочих процессов в других областях деятельности.

Подготовленный инструментарий обеспечивает ведение календаря, учет поставленных исследовательских задач и решений по их реализации, а также отчетов по выполненным исследовательским задачам. В настоящее время идет отработка инструментария в рамках рабочей научной группы по подготовке эксперимента по радиозондированию магнитосферы и ионосферы Земли в рамках перспективного проекта Чибис-АИ.

При этом следует отметить, что опыт использования данного инструментария показал его высокую эффективность и при проведении традиционных рабочих встреч за счет формализации и структуризации работ.

Назаров В.В. vnazarov@romance.iki.rssi.ru

6. Разработка предложений по гармонизации наземных сегментов научных космических проектов.

Гармонизация наземных сегментов космических проектов является задачей актуальность, которой отмечается всеми ведущими организациями в области космических операций. При этом наземные научные комплексы являются идеальной платформой для отработки новых идей и подходов в этой области в силу инновационного характера самих научных космических проектов. Работы в данном направлении проводились совместно с CCSDS и SpaceOps, являющихся основными международными организациями, объединяющими ведущих специалистов в области управления космическими комплексами, системами обработки телеметрической информации и других вопросов, связанных с космическими операциями. Полученные результаты использовались при проработке концептуального облика при проведении совместных операций в рамках проекта ЭкзоМарс, при проектировании наземных научных комплексов проектов Резонанс и СРГ, при проработке системы информационного обеспечения проекта Чибис-АИ. Результаты работ под данному направлению также были представлены на международных научных конференциях.

Назаров В.В. vnazarov@romance.iki.rssi.ru

7. Управление риском для здоровья населения от загрязнения атмосферного воздуха с использованием космических данных.

Разработана методика создания «модели предприятия», позволяющая персоналу предприятия непрерывно управлять временным режимом осуществления технологически необходимых залповых выбросов, на основе минимизации риска для здоровья населения, с учетом технологических ограничений. Разработана методика совместного использования модельных расчетов и прямых измерений концентраций загрязнителей на основе фильтра Калмана. Получены оценки риска для здоровья населения, проживающего вблизи нескольких крупных российских предприятий.

с.н.с., к.т.н. В.В.Егоров victor_egorov@mail.ru

Балтер Б.М., Балтер Д.Б., Егоров В.В., Стальная М.В., Чекалина Т.И.

8. Продолжение обработки гиперспектральных наблюдений Марса с целью построения по этим данным модели динамических процессов на поверхности Марса.

Выполнены работы по углубленной обработке данных о временной динамике гиперспектральных наблюдений Марса, проведенных в 2004 – 2011 г. с помощью прибора «Омега» на аппарате «Марс-Экспресс», нацеленные на максимальное улучшение информативности данных с помощью наиболее современных вариантов фильтра Калмана и построение модели динамических процессов в окрестности Южной полярной шапки Марса с возможно более полным пространственно-временным покрытием. С помощью фильтра Калмана удалось повысить качество интерполяции модели в тех пространственно-временных промежутках, где исходные данные отсутствовали.

с.н.с., к.т.н. В.В.Егоров victor_egorov@mail.ru

Балтер Б.М., Балтер Д.Б., Егоров В.В., Стальная М.В., Чекалина Т.И., отд.58

9. Доплеровский радар в системе управления посадкой летательного аппарата на Луну и планеты солнечной системы.

Выполнен расчет методических, инструментальных (шумовых) погрешностей доплеровских измерителей скорости, наклонной дальности (высоты) и радиовертикали, а также значений потенциальной точности оценки указанных параметров применительно к задачам «мягкой» посадки космических аппаратов.

с.н.с., к.т.н. В.В.Егоров victor_egorov@mail.ru

Балтер Б.М., Балтер Д.Б., Егоров В.В., Стальная М.В., Чекалина Т.И.

10. Идентификация распределения эффективного атомного номера, включая описание физических основ, описание алгоритма модели, описание алгоритма и результатов реконструкции.

Идентификация эффективного атомного номера является актуальной задачей в медицине (маммография, остоденситометрия, онкология), при радиационном определении плотности ткани, изменение которой обусловлена вариацией её химического состава. В мировой практике распространен двухэнергетический способ оценки, основанный на зависимости отношения массовых коэффициентов поглощения для различных энергий излучения от атомного номера. Как показали проведенные на математических моделях исследования данный способ характеризуется наличием систематической ошибки, как в определении плотности, так и в оценке эффективного атомного номера. Данные смещения обусловлены различными значениями параметров моделей связи массовых коэффициентов поглощения с атомным номером для различных энергий излучения. Причем такое смещение характерно как для моноэнергетических источников, так и для источников с непрерывным спектром. В реальных объектах вариация эффективного атомного номера невелика - в пределах десятых долей. Так, гранула микрокальцината размером 200 мкм вызывает увеличение эффективного атомного номера (в зависимости от толщины молочной железы) на 0,05-0,2. Систематическое же смещение составляет более 0,4. В работе предложен алгоритм компенсации данных смещений в оценках эффективного атомного номера и плотности, что позволяет проводить их численную реконструкцию из распределений.

Работа проводилась совместно с Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский Научный Центр рентгенологии» Минздравсоцразвития России.

д.т.н. В.А. Горшков, vavorshkov@mail.ru, отд.58

11. Развитие математического обеспечения для первичной и вторичной обработки прибора BMSW, входящего в состав эксперимента «Плазма-Ф». Проведение систематической обработки и архивации данных.

Продолжались работы по разработке новых и модификации существующих программ для первичной обработки данных эксперимента BMSW, входящего в состав эксперимента "Плазма-Ф", полученных с помощью штатной телеметрической системы и через ВИРК. Регулярно проводилась систематическая обработка полетных испытаний прибора BMSW, включая работы в Группе управления. Выполнена обработка данных для 450 сеансов связи. Регулярно проводилась сверка бортового времени прибора BMSW и московского декретного времени. По полученным результатам проводилась привязка измерений к всемирному времени (UT). Осуществлялся поиск больших возмущений в солнечном ветре, регистрируемых прибором BMSW. Регулярно проводились работы

по определению уровней фототоков для детекторов прибора BMSW. Результаты первичной обработки заносились в систему архивации и распределения данных приборов эксперимента "Плазма-Ф" на КА СПЕКТР-Р. Проводились работы по модернизации математического обеспечения для вторичной обработки данных прибора BMSW, а также систематическая обработка всех поступающих данных прибора и формирование выходных файлов на сервере эксперимента (V3).

*Зам. научн. рук. эксперимента в.н.с. д.ф.-м.н. Застенкер Г.Н., отд.54
Гаврилова Е.А., тел. (495)333-44-22, Рудневская Л. В., Ананенкова А.Н.,
Дьячков А.В., Вильчинская А.С., отд.58*

12. Разработка и исследование многокадровых методов сверхразрешения с использованием субпиксельной интерполяции и динамического шумоподавления с целью синтеза изображений высокого разрешения по серии изображений низкого разрешения для использования в системах распознавания образов и анализа видеоданных.

Существенной частью большинства известных в настоящее время подходов к решению задачи многокадрового сверхразрешения, определяющей качество полученных изображений, является эффективная методика шумоподавления, призванная уменьшить ошибку в определении векторов движения и снизить уровень импульсного шума при использовании недостаточно точно определённых векторов движения. Традиционно используемая в схемах шумоподавления гауссова фильтрация не обеспечивает сохранения чётких граней изображения, а применяемая для подавления импульсных шумов медианная фильтрация, сохраняя чёткость граней, подавляет также текстуры изображения и искажает мелкие детали, для выявления которых, собственно, и разрабатывается схема сверхразрешения.

Для решения задачи шумоподавления в схемах сверхразрешения был разработан и исследован адаптивный фильтр на основе дискретного косинусного преобразования в подвижном окне (Sliding Window DCT, SWDCT), обеспечивающий эффективную фильтрацию шумов при сохранении текстур изображения. Артефакты, связанные с неточным определением векторов движения при использовании блоковых методов поиска, во многом сходны с артефактами сжатия в схемах компрессии изображений на основе дискретного косинусного преобразования при грубом квантовании старших коэффициентов DCT, что позволяет рассматривать такие изображения в качестве модельных при исследовании методов фильтрации. Использование неадаптивных схем на основе SWDCT позволило поднять пиковое отношение сигнал/шум (PSNR) в среднем на 0.9 dB (на серии тестовых изображений) по сравнению со схемами, не использующими фильтрацию. Адаптивная SWDCT-фильтрация позволила получить дополнительный выигрыш в качестве изображений в диапазоне от 0.3 до 0.5 dB (в метрике PSNR).

Результаты разработки планируется представить на конференции "Техническое зрение в системах управления-2014" (Москва, ИКИ РАН, март 2014 г.).

Гл. спец., к.т.н., И. М. Книжный, E-mail: kim@mx.iki.rssi.ru, отд. 71.

13. Исследование распределенных масштабируемых систем визуализации применительно к решению научных и производственных задач.

Завершена работа по трехлетнему 2011-2013 гг. проекту «Создание программно-технологического комплекса для высокоразрешающей мультиспектральной фотодокументации каменного материала сверхглубокого и глубокого параметрического бурения и последующей визуализации его изображений совместно с материалами геофизических исследований скважин и данными лабораторно-аналитических исследований». Заказчиком является кернохранилище ОАО Недра, г. Ярославль, в котором содержатся образцы керна со всех параметрических и сверхглубоких скважин России, включая Кольскую сверхглубокую. В кернохранилище установлен автоматизированный фотографический стенд, обеспечивающий мультиспектральный характер, расширение динамического диапазона, увеличение глубины резкости фотодокументации каменного материала ПС и СГС. Проведена высокоразрешающая мультиспектральная фотосъемка различных видов каменного материала (полноразмерный и распиленный керн, пробы шлама, шлифованные коллекционные образцы и др.). Создано компьютеризированное рабочее место для параллельной визуализации изображений каменного материала с материалами геофизических и данными аналитических исследований на многодисплейных видеостенах. Подготовлена техническая и программно-

методическая документация, регламентирующая высокоразрешающую мультиспектральную фотодокументацию каменного материала.

к.ф. -м.н. Жижин М.Н.

14. Разработка технологии интерактивной визуализации и анализа фотоизображений керна буровых скважин.

Продолжены работы по трехлетнему 2012-2014 гг. проекту "Разработка технологии интерактивной визуализации и анализа фотоизображений керна буровых скважин совместно с материалами геофизических исследований и данными лабораторно-аналитических исследований". Создана методика получения и обработки высокоразрешающих изображений керна в видимом, дальнем, среднем и ближнем ультрафиолетовом и ближнем инфракрасном диапазонах. Разработано не имеющее аналогов программно-технологическое обеспечение для интерактивной визуализации и анализа мультиспектральных высокоразрешающих фотоизображений керна совместно с материалами геофизических и аналитических исследований по одной или нескольким скважинам. Создан и программно реализован новый алгоритм гранулометрического анализа мультиспектральных фотоизображений керна.

к.ф. -м.н. Жижин М.Н.

Раздел 5.3 КОСМОС

Отв. исп. к.т.н. Коноплёв В.В.

1. Модернизация и развитие научной космической сети «КОСМОС»

В течение 2013 года были проведены работы по развитию сети «КОСМОС» с целью повышения управляемости, надежности и безопасности сети, в частности:

1. Организован выделенный сегмент коммутации для взаимодействия виртуальных локальных сетей подключаемых пользователей. Данный сегмент позволил снизить нагрузку с корневых маршрутизаторов сети, повысить скорость взаимодействия пользовательских сегментов, а также сделал доступным дополнительный набор сервисов на сетевой магистрали, в частности Q-in-Q.
2. Организован центр безопасного удаленного доступа для пользователей сети «КОСМОС» на базе технологий VPN (IPSEC/L2TP);
3. Произведено предварительное тестирование существующего оборудования на предмет поддержки протокола IPv6. Сформулированы предложения по использованию локального адресного пространства IPv6 для эффективного масштабируемого безопасного сетевого взаимодействия в рамках научных проектов.
4. Инициирован процесс подключения к глобальной сети Интернет по протоколу IPv6.

А.Б. Александров, abba@cosmos.ru

Целевая Программа Президиума РАН П-14

В течение 2013 года были проведены работы по развитию инфраструктуры облачных вычислений на базе ЦОД ИКИ РАН. Работы включают ввод в эксплуатацию кластера из 4-х вычислительных узлов, которые в данный момент обслуживают пилотный проект экспериментального каталога спутниковых данных проекта NPP NASA на базе свободно распространяемого программного продукта SciDB. Кроме того, разработана архитектура параллельного отказоустойчивого масштабируемого хранилища, построенного на базе технологий LUSTE/ZFS, с поддержкой технологии RDMA. Данный подход позволяет устранить единую точку отказа на уровне системы хранения данных и организовать быструю миграцию вычислительных машин между физическими серверами. Были проведены экспериментальные исследования по работе механизмов автоматического резервирования на базе CentOS 6, которые планируется использовать для устранения единой точки отказа на уровне контролера вычислительного облака.

Раздел 5.4 Вектор_УС

Отв. исп. д.т.н. Аванесов Г.А.

1. Разработка методов и средств автономной навигации летательных аппаратов на основе измерения параметров естественных полей и ориентиров

В последнее десятилетие в задачах автономного управления ориентацией КА широкое распространение получили приборы звездной ориентации. В начале 2000 г. приборы звездной ориентации в основном использовались для периодической астрокоррекции высокоточных гироскопов, по показаниям которых велось непрерывное управление КА. Астрокоррекция могла производиться один раз за орбитальный виток, или даже раз с сутки, что существенно продлевало ресурс приборов звездной ориентации и накладывало основную нагрузку на гироскопию. Для обеспечения высокоточной ориентации на столь длительных интервалах времени между астрокоррекциями, на борту применялись дорогостоящие высокоточные гироскопы. Процедура астрокоррекции проводилась после успокоения и стабилизации КА, что не требовало большого диапазона рабочих угловых скоростей и ускорений от приборов звездной ориентации. Однако увеличение сроков активного существования КА, высокая стоимость и, в ряде случаев, недостаточный ресурс высокоточных гироскопов с одной стороны, и развитие помехозащищенности и надежности функционирования приборов звездной ориентации с другой стороны, привели к желанию разработчиков КА использовать звездные датчики в прямом контуре системы управления движением.

Все большее использование приборов звездной ориентации вполне логично – без астрокорректоров гироскоп обойтись в любом случае не может. Даже самый высокоточный гироскоп требует начальной выставки и со временем накапливает значительные угловые ошибки. Прибор звездной ориентации обеспечивает непревзойденные по точности определения параметров ориентации. Развитие приборов звездной ориентации идет по пути повышения частоты обновления информации и увеличения диапазона рабочих угловых скоростей и ускорений. В табл. 1 приведены основные характеристики, достигнутые в различных модификациях приборов БОКЗ.

Табл. 1. Основные характеристики приборов звездной ориентации ИКИ РАН.

Название прибора	Год разработки	Частота обновления информации, Гц	Допустимая угловая скорость, °/с	Допустимое угловое ускорение, °/с ²	Точность определения параметров ориентации*, $\sigma_{x,y}/\sigma_z$ угл.сек
БОКЗ-М	2002	0,33	0,15	0,01	1,2/15
БОКЗ-М60	2008	1	1,2	0,2	1,2/20
БОКЗ-М60/1000	2012	4	6	1	1,2/10

* точность указана при угловой скорости орбитального движения КА;
 $\sigma_{x,y}$ – СКО определения углов ориентации вокруг осей X и Y прибора (направление оптической оси);
 σ_z – СКО определения угла ориентации вокруг осей Z прибора (поворот вокруг оптической оси)

Как видно из табл. 1 за период в 10 лет параметры приборов звездной ориентации БОКЗ в части частоты обновления информации улучшились на порядок, а в части допустимых угловых скоростей и ускорений – на два порядка при сохранении характеристик точности. Характеристики, достигнутые в последних разработках приборов, удовлетворяют требованиям систем управления большинства КА. Частота работы системы управления практически всех КА лежит в диапазоне 4–10 Гц, а угловые

скорости даже самых динамичных КА не превышают $3^\circ/\text{с}$. Все это позволяет использовать измерения приборов звездной ориентации не для периодической астрокоррекции, а непрерывно, в каждом такте работы системы управления движением, в том числе при маневрах КА.

За последнее десятилетие ИКИ РАН накопил значительный опыт в разработке, создании и эксплуатации на борту КА приборов звездной ориентации. На текущий момент создано более 120 приборов, 44 из которых запущены на 22 КА с суммарной наработкой в космическом пространстве более 1 200 000 часов. При этом происходит непрерывное совершенствование характеристик приборов и идет научный технический поиск по развитию систем управления движением КА.

В работах отдела оптико-физических исследований ИКИ РАН показано, что возможно создание компактного прибора звездной ориентации массой 600 г, превосходящего точностные характеристики прибора БОКЗ-М60/1000 массой 4 кг.

Улучшенные точностные характеристики компактного прибора звездной ориентации обеспечиваются за счет использования высококачественных объективов, КМОП-матриц для получения изображений участков звездного неба и оригинальных алгоритмов обработки полученной видеoinформации.

Характеристики, достигаемые в компактном приборе, реализуются за счет развития технологий изготовления КМОП-матриц и высокоскоростной обработки видеоизображений в вентильной матрице.

Созданные алгоритмы обработки данных, реализуемые в современных вентильных матрицах, позволяют компенсировать 1) ошибки дисторсии; 2) структурные шумы КМОП-матрицы; 3) смаз изображения звезд и фоновую засветку.

На рисунке 1 показаны оптические головки компактных звездных датчиков на КМОП-матрицах с фокусными расстояниями объективов 24 и 36 мм.



Рисунок 1 Макеты оптических головок с фокусным расстоянием объектива 24 мм (слева) и с фокусным расстоянием объектива 36 мм (справа)

Для компактного прибора звездной ориентации, как показали испытания макетов, возможно достижение следующих характеристик: 1) частота обновления информации 10 Гц; 2) допустимая угловая скорость $7^\circ/\text{с}$; 3) точность измерения параметров ориентации $0,7''$

к.т.н. Бессонов Р.В., отд. 71

2. Оценка возможностей использования цифровых карт профиля поверхности в монокулярных системах технического зрения оптического и ИК диапазонов для решения задач навигации и ориентации летательных аппаратов

Использование естественных геофизических полей перспективно для решения навигационных задач при выполнении миссий по исследованию Марса, а также для исследования и промышленного освоения Луны, на что сейчас ориентирован ряд стран. Еще большее значение имеет решение навигационных задач при полетах в атмосфере Земли и в околоземном пространстве в условиях

возможного радиоэлектронного противодействия. Дело в том, что использование популярных в настоящее время систем спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС и др.) является абсолютно недопустимым при выполнении ответственных миссий. Это объясняется крайне высокой уязвимостью таких систем по отношению к активным помехам (см. отчет ИКИ за 2012 год). В рамках указанного направления в 2013 году были выполнены следующие работы.

1. Поскольку по результатам исследований 2012 года получено, что в условиях Земли одним из основных факторов, ограничивающих точность навигации, является атмосферная рефракция, то был разработан быстрый алгоритм учета атмосферной рефракции на высотах до 9-11 км (тропосфера) с использованием сферически симметричной модели атмосферы. Алгоритм, основанный на уравнении эйконала, позволяет рассчитать систему трасс (лучей), пригодную для синтеза наблюдаемой линии горизонта с учетом рефракции за 0,3-0,5 с использованием показаний бортовых датчиков температуры и давления.

2. Был разработан быстрый алгоритм синтеза эталонов, включающий в себя два этапа - итерационное сжатие отрезка, локализирующего положение точки горизонта, и последующий поиск экстремума на этом отрезке. На рис. 1 приведен пример эталонного изображения. По горизонтальной оси графика отложен азимут в градусах. По вертикальной оси графика отложен угол в градусах относительно местного горизонта (т.е. плоскости, ортогональной местной вертикали).

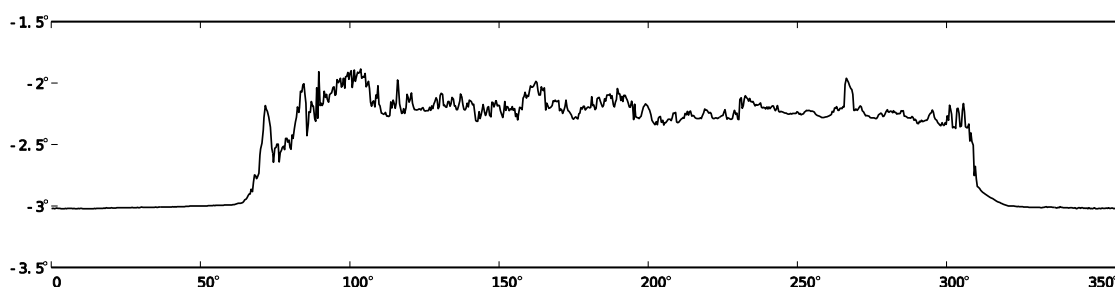


Рис.1. Пример эталонного изображения (район Гималайских гор)

Моделирование на процессоре Intel Core i7-3770 показало, что синтез набора эталонов, покрывающих область неопределенности, требует 0,22 – 0,344 с в режимах поиска и слежения соответственно. При синтезе эталонов с учетом рефракции атмосферы время счета увеличивается приблизительно в 3 раза. Параллельное выполнение расчетов на всех четырех ядрах процессора и оптимизация программы позволят значительно ускорить вычисления и уложиться в цикл обновления навигационной информации длительностью 1 с.

3. В том случае, когда профиль видимой линии горизонта оказывается неинформативным (например, над равнинами, над морем или при наличии дымки, затрудняющей визирование горизонта) возможен только режим измерения местной вертикали, что позволяет осуществлять навигацию по звездам. Были выполнены расчетные оценки степени влияния неравномерности засвечивания атмосферы Солнцем на ошибки измерения местной вертикали. Указанные ошибки были минимальными для диапазона 4.44-5.05 мкм и не превосходили 1,6 угловой минуты для моментов восхода и захода Солнца. Ошибки были существенно меньше в течение оставшейся части суток.

4. Для экспериментальной оценки влияния суточных вариаций давления, температуры и влажности, а также вариаций концентрации аэрозольных частиц в атмосфере в видимом и ближнем инфракрасном участках спектра И. А. Масловым (отдел 61) была проведена круглосуточная съемка горизонта над Черным морем в районе п. Симеиз с высоты 370 м. Полученные данные указывают на возможность регистрации линии горизонта даже в ночное безлунное время. Кроме того, были обнаружены суточные вариации видимого положения горизонта порядка 8 угловых минут, обусловленные, по-видимому, изменением метеорологических условий и высотных профилей аэрозолей.

С.н.с., к.т.н. Гришин В. А., E-mail: vgrishin@iki.rssi.ru, оmd. 71