

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. Бахшиян Б.Ц.

1. Продолжение аналитического исследования предельных фазовых траекторий сложных механических систем. Применение полученных результатов в задачах виброзащиты конструкций.

Продолжено исследование предельных фазовых траекторий нелинейных динамических систем. Предельная фазовая траектория системы или подсистемы определяется как траектория, соответствующая максимально возможному необратимому переносу энергии от источника возбуждения или от других частей многомерной системы. Подсистема, движущаяся по предельной фазовой траектории, может рассматриваться как эффективный динамический гаситель по отношению к другим частям системы.

В работах 2011 г. получено явное асимптотическое решение задачи о предельной фазовой траектории осциллятора Дюффинга и осциллятора Дюффинга, соединенного с возбужденным линейным осциллятором, в условиях основного и супергармонического резонансов. Аналитические результаты и численное моделирование продемонстрировали эффективность предложенных нелинейных ловушек для гашения резонансных колебаний возбужденной системы.

ГРАНТЫ РФФИ 10-01-00698-а, 11-01-08121-з.

в.н.с., д.ф.-м.н. А. С. Ковалева, a.kovaleva@ru.net

2. Построение классического аналога квантовой модели Ландау-Зенера и анализ перераспределения энергии импульсного возбуждения в колебательной системе с переменными частотами собственных колебаний. Изучение возможностей использования предложенной классической модели для разработки управляемого динамического гасителя с переменной частотой собственных колебаний.

Исследована система слабо связанных классических осцилляторов с переменными частотами. Показано, что изменение частоты вызывает перенос энергии от возбужденного осциллятора к невозбужденной части системы, играющей роль динамического гасителя колебаний. Построено асимптотическое решение, описывающее перенос энергии. Доказана эквивалентность уравнений изменения энергии в классической системе и уравнений квантового туннелирования Ландау-Зенера. Тем самым, полученные аналитические решения, описывающие переходный процесс в классической системе, переносятся на квантовые задачи, для которых подробно анализировались только стационарные решения.

в.н.с., д.ф.-м.н. А. С. Ковалева, a.kovaleva@ru.net

3. Исследования и разработки по выбору оптимальной орбиты в окрестности солнечно-земной точки либрации L2 с учетом ограничений по видимости орбиты из пунктов приема информации и по длительностям работы двигателей для выполнения маневров. Целью исследований является проектирование оптимальной обиты для проекта Спектр-Рентген-Гамма.

Анализ возможных переходов на орбиту в окрестности точки либрации L2 показал, что существует возможность построения схемы выведения на орбиту с амплитудой движения вдоль нормали к эклиптике, равной нулю. При этом необходимый импульс скорости относительно невелик и не превышает 130 м/с. В силу ограничений по величине импульса вследствие верхнего предела времени непрерывной работы двигателя собственно аппарата предложено использовать для маневра

уменьшения амплитуды двигатель разгонного блока «Фрегат». Показано, что такой маневр следует выполнять в окрестности пересечения орбитой плоскости эклиптики. Для этого отделение аппарата от разгонного блока следует выполнять примерно через 3.5 суток после старта с низкой круговой орбиты.

Указанный подход позволяет исключить интервалы полета, когда видимость аппарата с наземных станций на территории России отсутствует. Результаты исследований представлены в форме доклада на конференции по астрофизике в декабре 2011 года.

*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*

4. Разработка методов управления ориентацией малых космических аппаратов с минимальным составом измерительных и исполнительных элементов, предназначенных для околоземных и межпланетных полетов. Разработка методов управления ориентацией малых космических аппаратов, использующих маховики и магнитные катушки. Подготовка соответствующих математических программ для их применения в проекте «Чибис».

Разработаны методы и алгоритмы управления ориентацией микроспутника «Чибис» в бортовом варианте. Проведены моделирование и тестирование на стенде этих алгоритмов. Кроме того разработаны и использованы на практике методы определения моментов инерции аппарата на специально изготовленном стенде.

*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*

5. Разработка системы программ навигационной поддержки и планирования операций для проекта "Фобос-Грунт" с учетом реализации миссии в режиме взаимодействия с европейским проектом "ЕхоMars" и китайским магнитосферным спутником Марса.

Проведены анализ и оценки возможных окон совместных с китайским спутником экспериментов по радиопросвечиванию атмосферы Марса. Получены оценки длительности сеансов измерений в условиях ограничений по радиовидимости аппаратов с Земли. Показана возможность выполнения наблюдений приповерхностных слоев атмосферы в течение приемлемых для эксперимента интервалов времени. По результатам работ подготовлены совместные с китайскими партнерами протоколы в качестве исходных материалов для разработки циклограмм работы приборов.

*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. Исследование возможностей и методов управления движением астероидов, а также способов удержания космических аппаратов в окрестности астероидов.

Подготовлены основные математические программы для моделирования траекторий полета и управления движением космических аппаратов, выполняющих миссии к астероидам.

Инициативная работа

Выпущена глава по баллистике в составе отчета по проекту «Луна-Глоб», а также подготовлен баллистический раздел в отчете по проекту «Марс-Нэт». Кроме того, проведены исследования по возможностям проведения экспериментов на борту космической лаборатории ИНТЕГРАЛ с использованием затмений центра Галактики Луной и Землей.

*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*

7. Исследование особенностей эволюции орбит искусственных спутников планет и времени их баллистического существования при учете совместного влияния полярного сжатия планеты и гравитационных возмущений со стороны внешних тел.

Долговременная эволюция орбит высокоапогейных спутников под влиянием внешних гравитационных возмущений описывается системой уравнений, соответствующих двукратно-осредненной возмущающей функции, полученной М.Л. Лидовым в 1961 году путем осреднения по периодам орбит спутника и возмущающего тела.

Для этой вполне интегрируемой системы эволюционных уравнений сформулированы и доказаны утверждения о многообразиях начальных условий, приводящих к соударению спутника с центральным телом конечного радиуса R

Показано, что при каждом начальном значении наклона i , принадлежащем интервалу $(39^\circ, 141^\circ)$, существует верхняя граница значений безразмерных больших полуосей a/R , при которых долговременная эволюция орбиты под влиянием внешних гравитационных возмущений приводит к пересечению орбиты с поверхностью центрального тела и к соударению спутника с центральным телом.

Указанная верхняя граница значений большой полуоси $a_1(i)/R$ зависит только от начального значения наклона i плоскости орбиты спутника к плоскости орбиты возмущающего тела и определяется формулой: $a_1(i)/R = (3/5) \sec^2 i \left(1 + \sqrt{1 - (5/3) \cos^2 i}\right)$.

При возрастании начального значения наклона указанное верхнее значение безразмерной большой полуоси возрастает. Например, $a_1(70^\circ)/R = 9.73$, $a_1(80^\circ)/R = 39.29$, $a_1(82^\circ)/R = 61.45$.

При начальном значении наклона орбиты, стремящемся к 90° , упомянутая верхняя граница значений большой полуоси стремится к бесконечности, следовательно, при наклоне, равном 90° , соударение спутника с центральным телом оказывается неизбежным при любых начальных значениях большой полуоси. Это находится в полном соответствии с известным результатом М.Л. Лидова, получившим в научной литературе название «Вертикальной Луны».

Полученная картина существенно изменяется, если ввести в рассмотрение дополнительную составляющую возмущающей функции, описывающую гравитационные возмущения, обусловленные сжатием планеты. Это показано на примере некоторых интегрируемых случаев соответствующей системы эволюционных уравнений, полученной М.Л. Лидовым в 1962 году.

Все эти исследования имеют своей целью понимание особенностей долговременной эволюции орбит под влиянием слабых гравитационных возмущений и могут быть эффективно использованы на практике при выборе долгоживущих орбит ИСЗ и ИСП (искусственных спутников планет) Солнечной системы.

Результаты этих исследований опубликованы в статье:

Victoria I. Prokhorenko. On manifolds of initial conditions leading to intersection of orbits of satellites with planet under weak gravitational perturbations // Funct. Anal. Other Math. 2011. V. 3. N. 2. PP. 135–167. DOI 10.1007/s11853-011-0046-y, Springer, PHASIS Verlag UG.

Подготовлена к печати также русская версия этой статьи:

Виктория И. Прохоренко. О многообразиях начальных условий, приводящих к пересечению орбит спутников с поверхностью планеты под влиянием слабых гравитационных возмущений.

с.н.с., к.ф.-м.н. В.И. Прохоренко, vprokhorenko@mail.ru, тел. (495)333-50-45

8. Баллистическое обеспечение эксперимента «Плазма-Ф» на борту КА СПЕКТР-Р.

На стадии предполетной подготовки к запуску КА СПЕКТР-Р проведена модификация математического обеспечения для прогноза долговременной эволюции орбиты и времени баллистического существования КА. Расчеты долговременной эволюции орбиты на основе номинальных начальных орбитальных данных показали, что в результате долговременной эволюции аргумента перигея, начиная с марта 2013 года, точка апогея переходит в южное полушарие и остаётся в южном полушарии до конца 2014 года. А с начала 2014 года большая часть орбиты почти на 4 месяца «погружается» в южное полушарие.

С учетом задач долгосрочного и оперативного планирования эксперимента Плазма-Ф

проведена модификация разработанного в ИКИ программного комплекса «Орбита» для расчета и визуализации навигационных параметров вдоль орбиты, положения орбиты относительно различных областей магнитосферы Земли и солнечного ветра и времени прохождения КА через различные области магнитосферы.

Эти расчеты основаны на использовании современных моделей магнитосферы и адекватных моделей движения спутников с учетом основных возмущающих факторов.

На стадии летных испытаний, после запуска КА СПЕКТР-Р, для навигационного обеспечения ежемесячного планирования эксперимента Плазма-Ф регулярно проводятся расчеты орбиты КА, исходя из начальных условий, получаемых в ИПМ РАН в результате обработки траекторных измерений орбиты. Результаты орбитальных расчетов и основанного на этих расчетах ситуационного анализа регулярно поступают в Интернет на сайт ИКИ 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*

Определение ориентации КА и прибора БМСВ в солнечно-эклиптической системе

В рамках проекта Спектр-Р для обеспечения интерпретации данных эксперимента Плазма-Ф разработан комплекс программ, определяющих ориентацию научных приборов МЭП и БМСВ в солнечно-эклиптической системе GSE.

Прибор МЭП жестко связан с корпусом КА, для определения его ориентации достаточно определить ориентацию КА в системе GSE, исходя из предоставляемых НПО им. Лавочкина сведений об ориентации аппарата в инерциальной экваториальной системе координат. Прибор БМСВ закреплен на вращающейся панели солнечной батареи спутника, поэтому выполняется расчет ориентации панели в строительной системе КА, используя данные об угле поворота панели относительно аппарата, предоставляемые НПО им. Лавочкина.

Результаты определения ориентации представлены в виде матриц, выполняющих переход в систему GSE из систем КА и БМСВ. Матрицы размещены на сервере ИКИ РАН в виде массивов, отдельно для перехода из систем КА и БМСВ. Каждая строка массивов состоит из значений границ некоторого интервала времени и элементов матрицы, преобразующей вектор из системы БМСВ /КА в систему GSE в границах данного интервала. Интервалы выбираются, исходя из времени изменения ориентации КА, времени поворота солнечных панелей, а также точности результатов. На сервере также размещены описания указанных массивов. К 20 ноября получены результаты для определения ориентации с 31 июля по 20 октября 2011 года.

Определение направления на Солнце по данным прибора DSS (в рамках эксперимента Плазма-Ф).

Прибор DSS, жестко связанный с прибором БМСВ, позволяет получить направление на Солнце в осях прибора БМСВ. Результаты обработки показаний DSS размещаются на сайте ИКИ РАН. Эти данные используются, в частности, для проверки результатов определения ориентации БМСВ в системе GSE. К 20 ноября обработано 233 файла информации DSS, полученной за период с 5 августа по 6 ноября 2011 года.

*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*

9. Развитие системы навигационно-информационной поддержки проекта Фобос-грунт на базе систем SPICE и PDS.

Развитие системы навигационно-информационной поддержки проекта «Фобос-Грунт» на базе систем SPICE и PDS было выполнено в полномасштабном размере. И, несмотря на не совсем удачный запуск космического аппарата, нельзя сказать, что данная система разрабатывалась впустую, или в ущерб времени. Т.к. в концепцию системы изначально заложена универсальность, что позволяет достаточно быстро адаптировать ее под другие проекты и другие задачи небесной

механики, что уже было частично сделано под такие миссии, как «Луна-Глоб», «Чибис-М», «Радиоастрон», «ИНТЕГРАЛ».

Также был проведен учебный SPICE класс, где с коллегами из JPL/NASA был прочитан курс лекций, как для сотрудников ИКИ РАН, так и для сотрудников других институтов, таких как: ИМП, МИИГАиК, МИЭМ и ГЕОХИ. Где также было показано, как можно адаптировать систему SPICE под свои собственные задачи, несмотря на их огромную разновидность и классификацию.

Параллельно развитию системы навигационной поддержки ведется работа по визуализации баллистических данных, как с использованием графических программ, так и при помощи собственных, разработанных графических средств. Особенностью данного направления также является универсальность, что немаловажно для современного программного обеспечения, работающего на космическую отрасль.

м.н.с. Ледков А.А. отд. 58

10. Проведение теоретических исследований по оптимизации перелетов с малой тягой, включающих облет нескольких планет и малых небесных тел. Разработка математических методов и создание программного обеспечения для нахождения оптимальных траекторий полета к нескольким небесным телам.

Был проведен предварительный анализ проблемы, подготовлены и проанализированы уравнения, описывающие решение проблемы модифицированным методом транспортирующей траектории (т.е. методом оптимизации перелетов с малой тягой). Для случая облета малых тел (астероидов и комет) был подготовлен алгоритм решения задачи и создана программа для компьютера. Однако завершить отладку программы пока не удалось. Также предварительный анализ показал чрезвычайную сложность практического применения полученных уравнений в случае облета массивных тел (планет и их крупных спутников), что пока не позволило создать работоспособный алгоритм решения проблемы. В результате работа не была доведена до конца.

с.н.с., к.ф.-м.н. А. А. Суханов, suhanov@iki.rssi.ru

11. Оценка точности прогноза координат аппарата вблизи точки либрации.

Решалась задача оценки точности определения параметров движения КА вблизи точки либрации при различном составе измерений и различных предположениях об их коррелированности. В рамках этой работы уточнялась математическая модель движения КА в окрестности точки либрации, составлялся алгоритм оценивания параметров движения и определения оптимального состава измерений, рассматривались различные методы оценивания точности найденных оценок.

*в.н.с., к.т.н. Эйсмонт Н.А., Тел. (495)333-10-78, E-mail: neismont@iki.rssi.ru
к.ф.-м.н. Федяев К.С.*

12. Разработка математической модели описывающей поведение локально однородных континуальных сильно охлажденных систем под воздействием энергии тектонических преобразований (применительно к Европе).

Выполнены исследования и получены оригинальные результаты математического моделирования, объясняющие физические явления, происходящие на ледяной поверхности Европы, спутника Юпитера (работа выполнялась в соответствии с грантом РФФИ №09-08-00204-а).

д.т.н. Чумаченко Е.Н. mmkaf@miem.edu.ru

13. Математическое моделирование взаимодействия объектов с большой разницей температур. Построение модели для оценки эффективности криоботов.

Продолжены исследования в области разработки и усовершенствования имитационной модели теплового перемещения в ледяных структурах криоботов в условиях низких температур Европы (работа выполнялась в соответствии с грантом РФФИ №09-08-00204-а).

14. Исследование имитационной математической модели и анализ гипотез по системам «протаивания» сплошной среды при низких температурах. Построение начальных оценок эффективности криоботов на Европе.

Выполнен математический анализ процесса протаивания переохлажденных структур. Установлены зависимости между скоростью перемещения и энергоемкостью процесса прохождения охлажденной сплошной среды от формы атакующей части криоботов и температур различных участков поверхности криобота (работа выполнялась в соответствии с грантом РФФИ №09-08-00204-а).

к.т.н. Логашина И.В. mrsirene@rambler.ru

15. Разработка математических моделей формоизменения упругопластических деформаций при комплексном и локальном, силовом и температурном воздействии на сплошную среду.

Проведена разработка и реализация алгоритмов математического моделирования нелинейных упруго-пластических систем при комплексном механическом и температурном воздействии. Опубликованы статьи в российских и зарубежных журналах, сделаны доклады на российских и международных конференциях.

Аксенов С.А., тел. (495 333-24-33)

16. Продолжение разработки и реализации алгоритмов расчета параметров процесса течения металла при локальном последовательном деформировании. Продолжение освоения системы твердотельного моделирования SolidWorks.

Продолжена разработка архитектуры и реализация модулей (в том числе вычислительных) программы, позволяющей проводить расчеты параметров течения металла при различных воздействиях (в том числе и при последовательном локальном деформировании, и в условиях сверхпластичности), а также конструкционные задачи. Усовершенствованы навыки работы с системой твердотельного моделирования SolidWorks, и применены при решении прикладных задач по теме механики деформируемого твердого тела, таких как напряженно-деформированное состояние ледяного покрова, зубочелюстное протезирование.

Бобер С.А., тел. (495)333-24-33

17. Выполнение расчетов, связанных с дискретным представлением непрерывных объектов сложных пространственных форм.

Изучение коммерческих программных пакетов 3D-сканирования и изготовления виртуальной копии изделия, подготовки CAD-модели и проведения компьютерного инженерного анализа (CAE) проектируемых изделий методом конечных элементов (МКЭ) при решении статических задач механики сплошной среды (системы Mimics, SolidWorks, Patran, Nastran). Разработка тестовых расчетных моделей в этих программных комплексах. В частности, в качестве одного из примеров применения программных комплексов решалась задача установки временного протеза и имплантатов в челюсти, рассматривались принципы разработки геометрической модели челюсти по томографическому снимку, предварительная оценка расстановки имплантатов в челюсти на готовой виртуальной модели и подготовка данных для анализа прочностных характеристик конструкции с целью исследования реакции опорных тканей челюсти при функциональных жевательных нагрузках на протез. Полученные материалы опубликованы. Принимала участие в проведении семинаров по геометрическому моделированию и конечно-элементному моделированию для линейного статического анализа напряженно-деформированного состояния при помощи перечисленных выше систем на кафедре ММ МИЭМ.

Принимала участие в подготовке и организации семинара «Механика, управление и информатика» (секции «Перспективные компьютерные системы: устройства, методы и концепции»),

«Наземные средства обеспечения перспективных научных космических проектов – проблемы и перспективы», «Вычислительная физика: алгоритмы, методы и результаты»), проводимых 2 - 4 марта, 5 - 8 июля, 19 - 21 октября 2011 г. (г. Таруса, Калужская область, гостиница «Интеркосмос»), а также в семинаре "The 2nd Russian Study Group with Industry", проводимом 19-21 октября в Москве.

Полякова Т.В. , тел. (495)333-24-33

18. Выполнение расчетов и анализ процессов протаивания ледяных структур. Решение одномерных задач Стефана. Анализ неоднородностей возникающих в окрестности криоботов.

Разработан алгоритм численного решения задачи протаивания ледяных структур в системе MSC Patran/Nastran. Проведено численное моделирование в системе MSC Patran/Nastran. Опубликованы статьи в российских журналах и в материалах конференций.

Ерохина О.С. , тел. (495)333-24-33

19. Разработка принципов построения трассы Земля-Луна, основанной на использовании орбитальных тросовых систем (ОТС) (количество ОТС, их параметры, скорости вращения и т.д.).

Математическое моделирование тех процессов, которые должны обеспечить транспортировку по трассе Земля – Луна космической станции (КС) с полезным грузом, проводилось в общем гравитационном поле Земли и Луны (векторная сумма гравитационных сил, действующих на некую массу m , равна сумме векторов действующих сил). Считалось, что плоскость околоземных орбит – полярная; что Луна движется по круговой орбите вокруг Земли на расстоянии 380000км от ее центра, плоскость круговой орбиты составляет в среднем 59° с плоскостью эклиптики. При моделировании трос считался растяжимым. Моделирование проводилось путем интегрирования уравнений движения тросовых систем. Параметры движения выбирались так, чтобы стыковка полезного груза с концевым блоком пращи совершалась без затраты ракетного топлива. Для этого обеспечивалось сопряжение в точках контакта траектории движения блока пращи и груза, а также совпадение в точках контакта вектора скорости груза и вектора скорости концевого блока пращи, т.е. была сделана попытка решить задачу за счет баллистики. При поиске параметров околоземных орбит было рассмотрено 4 варианта; наиболее удачный из них следующий:

Первая ОТС (самая близкая к Земле):

Орбита почти круговая; высота над поверхностью Земли 640-650км. Период орбиты – 5800с; скорости центра масс ОТС в перигее – 9050м/с; в апогее – 9000м/с;

длина троса - ~180км,

массы концевых блоков: $m_1=2500$ кг (из них 500кг - груз), $m_2=7200$ кг

скорости до отстыковки груза: $v_{1p}=9096$ м/с; $v_{2p}=7251$ м/с

период (1 оборот тросовой системы вокруг центра масс) - 640с

В начальной точке моделирования ($t=0$; перигей) координаты концевых блоков:

$$x_{1p}=6946\text{км} \quad y_{1p}=1364\text{м}$$

$$x_{2p}=6778\text{км} \quad y_{2p}=1087\text{м}$$

Вторая ОТС:

Орбита высокоапогейная; высота концевиков над поверхностью Земли 580км и 786км; апогей - ~45000км. Период орбиты 10 - 11часов. Перигей орбиты находится на 150км по радиусу Земли дальше, чем перигей первой.

длина троса - ~200км,

массы концевых блоков: $m_3=2500$ кг, $m_4=3500$ кг

скорости до пристыковки груза: $v_{3p}=9100$ м/с; $v_{4p}=10542$ м/с

В начальной точке моделирования ($t=0$; перигей) координаты концевых блоков:

$$x_{3p}=6951\text{км} \quad y_{3p}=1367\text{м}$$

Направление вращения на первой и второй орбитах противоположны.

Орбиты построены так, что в момент начала отсчета $t=0$ в перигее координаты $x_{1p}=6946$ км, $y_{1p}=1364$ м концевого блока первой пращи, находящегося в верхней фазе вращения (по отношению к Земле), совпадают с координатами концевого блока второй пращи, находящегося в нижней фазе

вращения, $X_{3p}=6951\text{км}$, $u_{3p}=1367\text{м}$; скорости также совпадают и по величине $v_{1p}=9096\text{м/с}$, $v_{3p}=9100\text{м/с}$, и по направлению (т.к. направление движения концевых блоков противоположны). В этот момент происходит отцепление груза от концевого блока первой ОТС, и через 0.5с груз с массой 500кг пристыковывается ко второй ОТС.

После перестыковки груза $m_1=2000\text{кг}$, $m_3=3000\text{кг}$; орбита 1-ой ОТС «подсела» и стала практически круговой с радиусом 590км; апогей орбиты второй ОТС уменьшился на 5000-7000км.

Все параметры обеих ОТС можно проследить далее с заданным шагом времени (шагом интегрирования уравнений движения). Груз через один или несколько периодов отпускается также в перигее на высоте 7150км от Земли. Скорость выпущенного груза 10570м/с. Далее груз около 2 суток движется по пространственной кривой к Луне в общем гравитационном поле Земли и Луны.

При приближении к Луне ее вклад увеличивается и на расстоянии 200км от ее поверхности влияние Луны приблизительно в 100 раз больше, чем Земли.

Минимальная скорость груза на его пространственной кривой 2100-2200м/с; к Луне груз подлетает со скоростью 3000–3400 (для разных вариантов) м/с. При такой скорости Луна груз не захватывает. Торможение ракетными двигателями приводит к большому расходу энергии и в конечном счете к уменьшению относительной части полезного груза. ОТС, установленная на окололунной орбите, должна взять на себя часть кинетической энергии груза.

Околослунная орбита предполагается круговой, один из концевых блоков - на расстоянии 200км от поверхности Луны, другой – чуть больше 1км. Период обращения ОТС по орбите около 2-х часов.

Приведенные выше фрагменты моделирования проводились «по номиналу», лишь с небольшими затратами ракетного топлива при стыковках и перестыковках; об этих затратах здесь не упоминалось: они малы. Остается нерешенной задача перелета груза от Земли к Луне в область стыковочного узла лунной ОТС и в обратном направлении – к околоземной ОТС. Решение этой задачи имеет много вариантов, весьма трудоемко и требует следующих этапов работы.

д.т.н. Сидоров И.М., тел. (495)333-14-89

20. Исследование динамики развертывания троса.

Процесс развертывания троса моделировался путем интегрирования системы уравнений движения тросовой системы. Подробно рассмотрены особенности движения тросовой системы на протяжении всего процесса развертывания.

Для реализации развертывания тросовой системы наиболее трудной является задача обеспечения стабильного протекания начального этапа развертывания.

Процесс развертывания троса начинается в момент времени $t=0$, когда груз, прикрепленный через мягкую пружину к тросу, выталкивается со скоростью w_0 по оси r и появляется некоторая слабина троса. При $t=0$ привод начинает выпускать трос со скоростью u_0 . Пусть эта скорость постоянна. Тогда если она больше скорости груза, то в отсутствие натяжения трос будет наматываться на блок привода; если же меньше, то слабина троса постепенно выбирается, и при $t=t_1$ трос натягивается. К этому моменту длина троса невелика и величина его растяжения незначительна. Пружина, через которую груз крепится к тросу, растягивается.

Натяжение действует на протяжении интервала ($t_1 < t < t_2$). Под действием силы натяжения троса скорость движения груза относительно МКС уменьшается и при $t=t_2$ растяжение пружины становится равным нулю и трос провисает. Если в момент времени $t=t_1$ скорость движения груза была больше, чем скорость разматывания троса, то при $t=t_2$ скорость движения груза оказывается меньше, чем скорость разматывания троса. Решения уравнений движения груза в поле тяготения при условии отсутствия натяжения показывают, что скорость движения груза относительно блока привода постепенно увеличивается. В результате через достаточно длительный интервал времени ($t_2 < t < t_3$) трос натянется, сила натяжения будет действовать на интервале ($t_3 < t < t_4$), а далее опять длительный интервал времени при отсутствии натяжения. Таким образом, возникают последовательные пики натяжения троса, которые могут привести к его разрыву.

Задача развертывания осложняется тем обстоятельством, что груз не является точечной массой, а точка крепления груза отстоит от центра масс на некотором расстоянии. Из-за неточности работы механизма выталкивания к моменту $t=t_1$ ось груза отклоняется от направления троса. Во время действия натяжения на интервале ($t_1 < t < t_2$) груз получает импульс угловой скорости и начинает вращаться в обратную сторону. Процесс последовательного натяжения и ослабления троса повторяется достаточно много раз. Груз ведет себя как шарик на резинке в известной игрушке.

Угловая скорость вращения груза может достигать значительных величин, и он может перекручиваться. Динамика движения определяется, как отклонением оси груза от направления троса, так и продольными колебаниями пружины.

Необходимо, чтобы процесс периодического появления слабину троса сменился режимом постоянного натяжения.

Предложен алгоритм управления скоростью $u(t)$ разматывания троса таким образом, чтобы после того, как при $t > t_1$ слабину троса будет выбрана, при дальнейшем разворачивании трос не провисал, т.е. величина натяжения была бы > 0 при $t > t_1$.

При удлинении троса груз опускается вдоль прямой S , которая в силу действия кориолисовой силы смещена относительно оси $(0, r)$. Груз совершает колебания относительно прямой S с постоянной амплитудой L_1 и с частотой ω_1 , которая при разворачивании троса остается практически постоянной.

Предложен алгоритм управления скоростью разворачивания троса, позволяющий получить более благоприятный режим разворачивания, с меньшей амплитудой колебаний.

После достижения тросом заданной длины привод заканчивает процесс разворачивания. ОТС переходит в режим колебания с постоянной длиной троса. Так как с увеличением длины троса натяжение возрастает, происходит удлинение троса, и трос при растяжении работает как пружина. К этому времени пружина, установленная на грузе, становится не нужной, и может быть заблокирована. При вариации скорости разворачивания недопустимо скачкообразное изменение величины $u(t)$. Скорость $u(t)$ следует изменять постепенно.

д.т.н. Сидоров И.М., тел. (495)333-14-89

21. Динамические характеристики орбитального движения тросовой системы, обеспечивающие реализацию контакта со стыковочным узлом.

Реализация контакта полезного груза со стыковочным узлом обеспечивается особенностью орбитального движения тросовой системы, состоящей в том, что элементы троса и, в частности концевой блок, участвуют как в собственном движении вокруг центра масс тросовой системы (окружная скорость), так и в орбитальном движении самого центра масс (вектор скорости равен сумме векторов обеих скоростей). Пусть центр масс орбитальной тросовой системы (ОТС) и обменный груз движутся в одной плоскости по эллипсам с различными параметрами и с разницей в скорости ΔV . Т.к. скорость концевой блока равна сумме скорости центра масс ОТС и окружной скорости концевой блока относительно центра масс ОТС, то если окружная скорость блока пращи совпадает с ΔV , то возможен контакт объекта (груза) с концевым блоком. Для этого необходимо, чтобы в момент контакта центр ОТС находился в заданной точке траектории, по которой движется объект (ОТС) и фаза поворота ОТС также была расчетной. При этом пространственные координаты стыкующихся объектов будут точно равны, а их скорости будут равны как по величине, так и по направлению. Выведение пращи в точку контакта с заданными условиями может быть реализовано управлением длиной троса. Это управление может изменять орбиту, скорость вращения пращи и длину троса. Часть изложенных выше материалов готовится к публикации в виде препринтов ИКИ РАН.

д.т.н. Сидоров И.М., тел. (495)333-14-89

22. Исследования нелинейной динамики и разработка методов управления системами высокой размерности испытывающих бифуркации.

Проводимые исследования были посвящены возможным приложениям теории бифуркаций к решению проблем вызванных нелинейной динамикой реальных систем.

В рамках развиваемого подхода в ИКИ РАН были организованы заседания исследовательской группы - RSGI-2011 [<http://rsgi2011.cosmos.ru/>] посвященные разработке подходов к решению одной из наиболее сложных задач, возникающих при проектировании турбомашин, а именно, задаче прогнозирования условий возникновения флаттера (режима автоколебаний) и вращающегося срыва в лопатках турбомашин. Такие нелинейные явления могут приводить к резкому повышению переменных напряжений в лопатках и вызывать их быстрое разрушение, что приводит к катастрофическим последствиям - разрушению турбомашин и самолета (или другого объекта), на котором она установлена.

В результате проведенных исследований была предложена методика эксперимента, позволяющая оценить область параметров, в которой возникает флаттер. Для того чтобы понять, применима ли предложенная методика к прогнозированию вращающегося срыва, необходимы дополнительные исследования. Описание предложенной методики и возможные подходы к решению этих проблем, предложенные другими участниками RSGI-2011, будут опубликованы в отчете исследовательской группы.

Другая часть исследований была посвящена приложению теории бифуркаций к анализу нелинейной динамики возникающей в сердечной клетке под действием периодической стимуляции. Исследования динамических неустойчивостей возникающих в периодически стимулируемой клетке важны для понимания условий возникновения аритмии в сердце.

Учитывая, что модель клетки представляет собой систему из десятков дифференциальных уравнений, разработка подходов к анализу таких систем представляет собой отдельную задачу. В результате исследований предложены новые методы и подходы к исследованию бифуркаций и мультистабильности в ионных моделях клетки [1]. Предлагаемые подходы не ограничиваются частным примером рассмотренной системы, и могут быть использованы при анализе сложных многоуровневых систем различной природы.

Elena Surovyatkina. Bifurcations and Multistability in Periodically Stimulated Cardiac Cells. In E. Mosekilde et al. (eds), Biosimulation in Biomedical Research, Health Care and Drug Development (pp. 253-284), DOI: 10.1007/978-3-7091-0418-7_12, Springer-Verlag/Wien 2012

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

Раздел 5.2. Интеллект. Телекоммуникационные технологии

Отв. исп. к.ф.-м.н Жижин 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, аттестации сотрудников, информации Ученого и 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:

- Второй московский международный симпозиум по исследованиям Солнечной системы: спутники планет (2MS3)
- Седьмая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе"
- Международная научно-практическая конференция «Космические исследования в государствах - участниках СНГ: интеграция, потенциал развития и правовой аспект»
- Международная конференция "Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле"
- The 2nd Russian Study Group with Industry
- Сайт эксперимента ПЛАЗМА-Ф
- Сайт SpaceWeather.ru (Космическая погода по-русски)

Данные сайты были выполнены с использованием системы управления содержимым, выбранной для построения динамической версии веб-сайта института. При этом были отработаны основные принципы построения сайта, определены типы содержимого, навигации по сайту и взаимодействия с ответственными за наполнение соответствующих разделов. 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

2. Исследование и внедрение технологий виртуальных машин для повышения эффективности, безопасности и надежности использования программно-аппаратных средств вычислительной

техники в локальных и глобальных сетях передачи данных. Исследование применимости технологии Cloud Computing для распределенной обработки и хранения научных космических данных.

Продолжались работы по созданию опытного узла инфраструктуры облачных вычислений. Отдельные элементы облачных вычислений, включая использование виртуальных машин и сетевых систем хранения данных были использованы при организации и эксплуатации системы приема, хранения и распределения данных проекта Плазма-Ф. Опыт эксплуатации элементов платформы облачных вычислений позволил выявить преимущества данной технологии, позволяющей гибко и эффективно использовать имеющиеся аппаратные ресурсы вычислительной техники.

М.Н. Боярский mb@rssi.ru

3. Разработка и внедрение открытой программной платформы для построения высокопроизводительных виртуальных транспортных сетей.

Программный пакет UDTGATE позволяет создавать высокопроизводительные туннели для передачи крупных объемов данных по каналам с большими значениями фактора BW*RTT. Для стыковки с конечными пользовательскими приложениями используется протокол SOCKSv4, что позволяет осуществлять прозрачную упаковку в туннель пользовательских соединений TCP. Данный пакет основан на библиотеке UDT, проекте, поддерживаемым Университетом шт. Иллинойс, Чикаго. За отчетный период были проведены работы по консультации новых пользователей по работе с программным пакетом UDTGATE (udtgate-1.5-fix6). Программный код проекта опубликован в системе коллективного управления проектами с открытым исходным кодом SourceForge адресу <http://sourceforge.net/projects/udtgate/files/udtgate/>. За отчетный период было зарегистрировано 699 загрузок последней версии пакета анонимными пользователями.

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

4. Развитие и внедрение технологий сверх-больших баз данных и информационных сервисов для совместного анализа данных дистанционного зондирования, климатологии, солнечно-земной физики и астрономии.

Велись работы по гранту РФФИ офи-м на тему "Создание ГРИД-сервисов хранения, обработки и визуализации данных ДЗЗ для мониторинга добычи углеводородов". В ходе выполнения проекта планируется разработать и создать сервисно-ориентированный ГРИД данных для распределенного хранения, параллельной обработки и многомасштабной визуализации ДЗЗ. ГРИД данных будет основан на существующей вычислительной и сетевой инфраструктуре ИКИ РАН и ППО OGSA-DAI. Функционал и масштабируемость ГРИД-сервисов данных будут апробированы на решении прикладной задачи оценки объемов факельного сжигания попутного газа на месторождениях углеводородов в Западной Сибири. В качестве исходных данных используются ДЗЗ с американских метеорологических спутников DMSP, полученные по соглашению между РАН и НОАА США.

к.ф.-м.н. Жижин М.Н.

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

Велись работы по первому этапу трехлетнему контракту с ООО Недра (Ярославль) по созданию роботизированной системы многоспектрального высокоразрешающего фотодокументирования геологического керна, полученного со сверхглубоких опорных скважин на территории РФ, включая Кольскую. В 2011 г. были разработаны и созданы прототипы роботизированных сканеров, позволяющих скоростную съемку каменного материала в виде шлифованного и нешлифованного шлама.

Детальная макросъемка большой поверхности потребует новых подходов к обработке, хранению и визуализации полученных изображений. Обработка должна позволять автоматическую склейку

отдельных фрагментов: по поверхности снимаемого объекта (panorama stitching), по динамическому диапазону цифровой матрицы фотокамеры (high dynamic range – HDR), и по глубине резкости макрообъектива (focus stacking). Научный подход к хранению данных предполагает долгосрочное хранение не только результатов обработки, но и исходных данных вместе с настройками обрабатывающих программ, чтобы в дальнейшем можно было повторить обработку и воспроизвести или улучшить результат. Визуализация полученных гигапиксельных изображений требует специальных форматов хранения в виде многомасштабных плиточных пирамид. Мультиспектральная фотосъемка каменного материала в ультрафиолетовом и в инфракрасном свете дополняет высокоразрешающую цветную фотографию возможностью выделить в составе керна отдельные минералы и органические вещества (в первую очередь углеводороды), которые, помимо поглощения и рассеяния, способны переизлучать световую энергию на других длинах волн (флуоресцировать).

к.ф. -м.н. Жижин М.Н.

6. Развитие и внедрение технологий беспроводных сенсорных сетей в области мониторинга окружающей среды.

Велись работы по инициативному гранту РФФИ "Распределенное детектирование событий в многомерных потоках данных в беспроводных сенсорных сетях". Были разработаны и реализованы в действующих макетах алгоритмы детектирования событий на узлах беспроводной сети и синхронизации результатов детектирования по сети для мониторинга протяженных объектов сетями с большим количеством (сотни и тысячи) сенсоров. В качестве базового узла сети будут использоваться моты TelosB под управлением операционной системы TinyOS. В основу алгоритмов детектирования лягут оригинальные алгоритмы поиска сценариев событий в потоках геофизических данных методами нечеткой логики. Различные топологии распределенных детекторов событий гарантируют их использование в междисциплинарных исследованиях и мониторинге одномерных сетей (трубопроводов), двумерных (направленные инфразвуковые антенны в вулканологии) и трехмерных конфигураций (прецизионное сельское хозяйство, экология).

к.ф. -м.н. Жижин М.Н.

7. Разработка информационных средств оперативной обработки научной телеметрической информации и управления космическими аппаратами научного назначения для перспективных научных космических проектов.

Разработана принципиально новая концепция организации оперативной обработки научной телеметрической информации (НТМИ), учитывающая возможность одновременного приема НТМИ на нескольких наземных пунктах. На основе анализа качества и достоверности принимаемого потока в оперативной базе данных системы запоминается наиболее приоритетная информация. При этом полные исходные потоки информации также сохраняются в архиве.

Для отработки данной концепции была подготовлена программная реализация системы оперативной обработки эксперимента «Плазма-Ф» проекта «Радиоастрон». Для повышения возможностей эффективной визуализации данных были разработаны соответствующие программные средства обеспечивающие доступ к результатам оперативной обработки на основе Web технологий.

Данные программные средства успешно отработаны и продолжают функционировать в контуре оперативной обработки эксперимента «Плазма-Ф» проекта «Радиоастрон».

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

8. Автоматизация научно-организационной деятельности Института. Разработка и программная реализации интерактивного интерфейса с системой автоматизации научно-производственной деятельности.

Работы по автоматизации научно-организационной деятельности Института и разработки и программной реализации интерактивного интерфейса для доступа к ресурсам такой системы. Были направлены на развитие системы телеконференцсвязи и включения таких возможностей в общую коммуникационную среду. Разработка велась на основе программно-аппаратных средств Polysom.

Продолжалось сопровождение и развитие web-портала Секции Солнечной системы, web-порталов проектов «Чибис-М», «Плазма-Ф», «Фобос-Грунт», «Венера-Д» и др.

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

9. Разработка рекомендаций применения международных информационных стандартов и протоколов в научных космических проектах. Исследование аспектов построения комплексных распределенных информационных систем применительно к обеспечению жизненного цикла научного космического проекта.

Работы по адаптации международных стандартов к отечественным научным космическим проектам проводились в кооперации с Консультативным комитетом по космическим системам обработки данных (CCSDS) и SpaceOps, являющейся международной организацией, объединяющей специалистов в области управления космическими комплексами и системами обработки телеметрической информации и других вопросов, связанных с космическими операциями. По результатам проработки, в кооперации с ведущими предприятиями и академическими организациями в области космических исследований подготовлена заявка на открытие соответствующей НИР.

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

10. Адаптация макетной версии системы поиска зависимостей между разнородными параметрами к интеграции в различные информационные системы научных космических проектов. Разработка и включение в систему расширенных методов визуализации и расширенного поиска информации.

В течении 2011 года в дополнение к работам по исследованию возможностей использования гибридных вычислительных средств для поиска зависимостей между разнородными измерениями, проводимыми в ходе реализации космических проектов. Было подготовлено программное обеспечение отображения унифицированного отображения разнородной информации. Данное программное обеспечение успешно апробировано на результатах измерений комплекса «Плазма-Ф» проекта «Радиоастрон», с ее помощью регулярно подготавливаются публикации на web-портале проекта.

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

11. Эксплуатация и развитие информационной системы оценки риска для здоровья населения в связи с загрязнением окружающей среды. Расширение набора вариантов моделирования рассеяния с использованием многочисленных опций модели AERMOD. Эксперименты по перестройке логики моделирования с использованием функции воздействия «источник-датчик», подобной функции Грина. Практическое использование системы для оценки риска здоровью населения от действующих и строящихся предприятий.

Продолжено развитие информационной системы оценки риска для здоровья населения в связи с загрязнением окружающей среды (EHIPS). Для модели рассеяния ISC апробирован учет неопределенности свойств территории через среднее геометрическое от сельского и городского варианта рассеяния, а также разработана методика учета переменной высоты некоторых источников загрязнения. Для модели рассеяния AERMOD апробирована методика расчета вклада индивидуальных источников в загрязнение с использованием функции воздействия «источник-датчик», а также включено моделирование заглубленных источников. Система EHIPS использована в значительном количестве практических работ, из которых наиболее методологически продвинутым является расчет загрязнения и риска для здоровья для Олимпиадинского ГОК. Подготовлена обзорная публикация по результатам части практических работ «Системный анализ риска от загрязнения воздуха для нефтеперерабатывающих 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.

12. Взаимодействие электромагнитных волн радиодиапазона с поверхностью Земли и Луны. Будут выполнены исследования по рассеяния волн см- и мм- диапазона волн ледовыми покровами северных морей, а также разработана методика определения степени неровности лунной поверхности по данным сенсоров радиолокационной посадочной системы.

Выполнен цикл работ по исследованию значений удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) морской поверхности для разной степени волнения и УЭПР ледяных полей, торосов и айсбергов при настильных углах зондирования на длинах волн 8,6 мм и 3,2 см. Из литературных источников были получены сведения о геометрических и электрофизических характеристиках различных ледяных объектов и проведены расчеты УЭПР морских льдов и айсбергов на фоне взволнованной поверхности моря. Кроме того, оценивалось влияние дождевых осадков различной интенсивности на мощность эхо-сигнала радиолокатора, предназначенного для обнаружения ледяных объектов, представляющих угрозу для морских буровых платформ. Было показано, морское волнение при средней и высокой скорости ветра способно маскировать квазигладкие ледяные поля (нилас, серый, однолетний и многолетний лед) на радиолокационных изображениях, однако такие объекты, как торосы и айсберги будут иметь достаточно высокую УЭПР, чтобы наблюдаться на фоне волнения. Дождевые осадки, снег и туман будут оказывать гораздо более слабое влияние на изображение морских льдов даже на длине волны 8,6 мм. Расчеты вероятности правильного обнаружения опасных ледяных объектов и вероятности ложной тревоги дали, соответственно, величины 0,9 и 10^{-3} .

Результаты работы могут иметь большое практическое значение для проектирования радиолокаторов, предназначенных для установки на морские нефтедобывающие платформы и имеющих целью обнаружение опасных льдов.

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.

13. Обработка данных гиперспектрального зондирования Марса. Будут продолжены работы по накоплению и обработке гиперспектральных данных эксперимента "Марс-Экспресс", нацеленные на построение полной имитационной модели, покрывающей всю пространственную и временную область наблюдений, с экстраполяцией на ненаблюдаемые временные интервалы и территории.

Продолжена разработка методики моделирования динамических объектов по гиперспектральным наблюдениям, использующая фильтр Калмана. В качестве опорной модели с всепогодным покрытием, но грубым пространственным разрешением включена глобальная модель атмосферной динамики Марса LGCM (Франция). Цель фильтра Калмана – уточнение этой модели с резким повышением пространственного разрешения. Для этого реализован распределенный фильтр Калмана, представляющий собой до 1 млн параллельно работающих фильтров, каждый из которых отвечает за один элемент изображения, примерно соответствующий элементу разрешения гиперспектральной съемки. Используемый ранее многочастичный фильтр Калмана реконструирован в виде т. наз. информационного фильтра, наиболее удобного для распределенной реализации. Проведены эксперименты по реконструкции полного пространственно-временного покрытия динамики поля температуры в окрестности Южной полярной шапки Марса за 3 марсианских года. Результаты доложены на Всероссийской открытой ежегодной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса": доклады «Применение фильтра Калмана к обработке гиперспектральных данных» и «Определение информативности данных прибора Омега для динамики Южной полярной шапки Марса с помощью фильтра Калмана».

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.

14. Разработка модели двухэнергетической делительной радиографии для реальных полиэнергетических спектров излучения. Разработка алгоритма реконструкции распределения эффективного атомного номера в условиях реальных полиэнергетических спектров излучения. Проведение экспериментальных реконструкций распределения эффективного атомного номера на фантомах и биологических объектах.

Двухэнергетическая разностно-делительная радиография основана на визуализации линейной комбинации разности и отношения логарифмов числа фотонов, прошедших молочную железу без взаимодействия, на двух (высокой и низкой) энергиях исходного излучения.

С целью повышения чувствительности маммограмм к распределению эффективного атомного номера в мировой практике используется способ двухэнергетической разностной маммографии. Однако двухэнергетическая разностная маммография представляет собой визуализацию линейного распределения произведения эффективного атомного номера и плотности.

С целью устранения влияния плотности на маммограммы была предложена двухэнергетическая делительная маммография (патент RU 2391909, 2008).

Однако, предлагаемые способы применимы в случае монохроматического излучения. Для реальных спектров излучения численные визуализированные значения как в разностной, так и в делительной маммограммах в узком диапазоне изменений плотности и эффективного атомного номера линейно с ними связаны. Совместное решение системы линейных уравнений связи отношения и разности логарифмов оцифрованных маммограмм с плотностью и эффективным атомным номером (разностно-делительная маммография) позволяет идентифицировать микрокальцинаты меньших размеров.

В выделенных прямоугольниках участков молочной железы (рис.1) на разностно-делительной маммограмме (рис.1в) проявляются микрокальцинаты, которые не видны не только на традиционной маммограмме (рис.1а), но и на делительной (рис.1б).

Невозможность идеального совмещения двух изображений делает невозможным поиск микрокальцилатов размером менее 100-200 мкм, наиболее опасных для молочной железы.

Поскольку, смещения для разности и отношения рассматриваемых логарифмов одинаковы, то визуализация линейной комбинации отношения и разности оцифрованных маммограмм, позволяет выявлять микрокальцинаты еще меньших размеров (рис.2). Черные точки на рис.2в соответствуют мельчайшим гранулам микрокальцилатов, которые не видны ни на традиционной (рис.2а), ни на разностно-делительной (рис.2б) маммограммах.

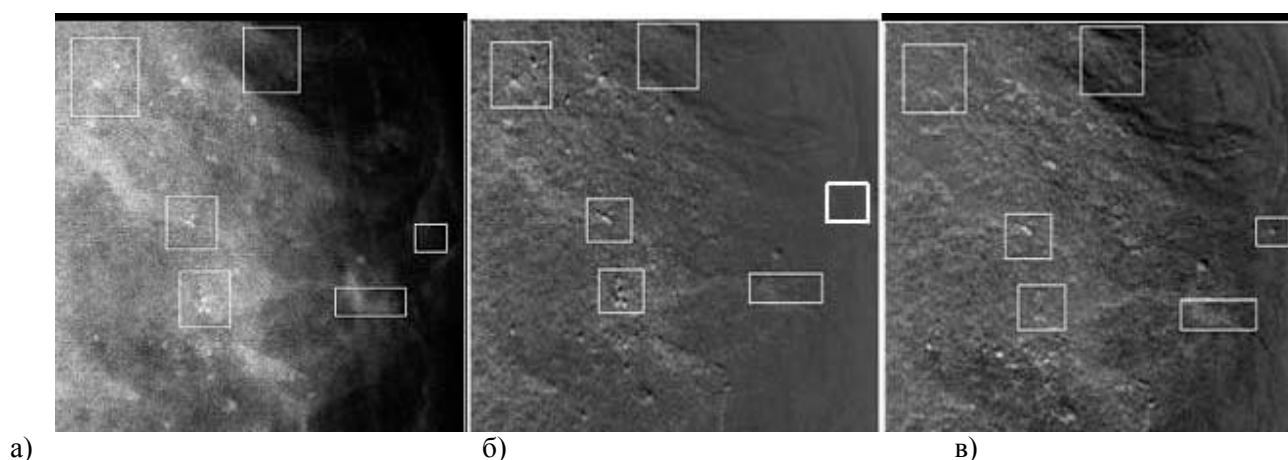
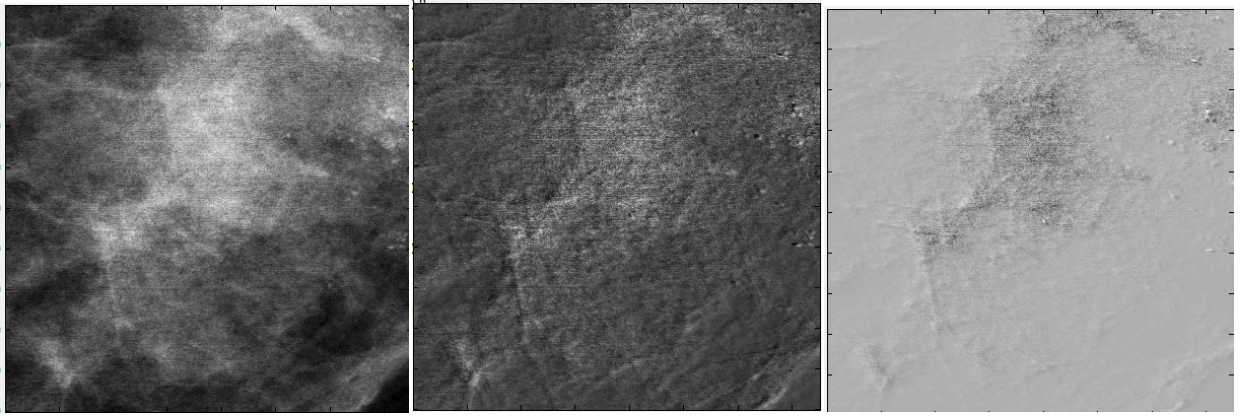


Рис.1. Традиционная (а), делительная (б) и разностно-делительная (в) маммограммы



а) б) в)
Рис.2. Традиционная (а), разностно-делительная (б) маммограммы и линейная комбинация разностной и делительной маммограмм (в)

с.н.с., д.т.н. В.А. Горшков, gorshkov_va@mtu-net.ru

15. Продолжение работ обработке и созданию архива данных.

Обработка данных эксперимента "Плазма-Ф" КА СПЕКТР-Р. Разработка математического обеспечения для обработки данных и проведение систематической обработки данных прибора БМСВ, входящего в состав эксперимента "ПЛАЗМА-Ф".

1. Продолжались работы по созданию новых и модификации существующих программ обработки данных прибора БМСВ для уровня первичной обработки данных эксперимента. Подготовлена программа дешифрации режимов работы телеметрической системы и системы сбора данных ССНИ для полетных испытаний.
2. Создан комплекс программ по упорядочиванию и объединению данных, полученных при различных режимах бортовой обработки, комплекс, обеспечивающий вычитание фона из данных прибора и привязку данных ко времени УТ по заданным константам, комплекс сервисных программ для быстрой оценки поступающих данных.
3. Проведены исследования по метрологическим характеристикам прибора БМСВ и поиск других алгоритмов получения параметров солнечного ветра.
4. Создано математическое обеспечение для проведения вторичной обработки данных прибора БМСВ.
5. Регулярно проводилась обработка испытаний летной и запасной моделей прибора БМСВ во время наземных испытаний в НПОЛ.
6. Регулярно проводится обработка данных прибора БМСВ после запуска КА. Выполнена обработка данных для 210 сеансов связи.

*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.*

Архив данных комплекса "Плазма-Ф" КА СПЕКТР-Р.

Задачей архива данных комплекса «Плазма-Ф» в ИКИ является сбор, распределение и обеспечение сохранности всех типов данных, получаемых в результате приема и обработки информации, получаемой в ходе проекта. К ним относится полный поток данных, получаемый со спутника, орбитальные данные, данные ориентации аппарата, циклограммы, файлы привязки времени, данные обработки первого и второго уровней для всех приборов комплекса.

Для обеспечения функционирования архива данных был разработан программно-аппаратный комплекс в составе: основного сервера архива, сервера резервного копирования данных и информационного веб-сервера.

На основной сервер архива первичные данные поступают в процессе зеркалирования сервера приема данных в ИКИ РАН. Далее они по протоколам ftp, sftp и smb становятся доступными для групп обработки. Результаты обработки по тем же протоколам поступают в архив обработанных данных, где становятся доступными для авторизованных пользователей для научного анализа или обработки более высокого уровня. Авторизованные пользователи с соответствующими правами доступа имеют возможность разместить результаты обработки уровня 2 и орбитальные данные в соответствующем разделе архива данных, к которому есть публичный доступ по протоколу http через веб-сервер проекта.

Для обеспечения гарантированной сохранности данных осуществляется резервное копирование данных на отдельный сервер по протоколу rsync, причем создаются две копии на двух разных дисковых массивах. В свою очередь эти массивы используют технологию RAID для повышения надежности сохранности данных. На 1 декабря 2011г. в архиве данных «Плазмы-Ф» содержатся 8,6 тыс. файлов обработанных данных общим объемом 146.4 ГБ.

М.И.Шевченко ms@space.ru

М.Н. Боярский mb@rssi.ru

Продолжение работы по анализу и интерпретации данных о пучках почти моноэнергетических ионов (ПМИ) в спектрах энергичных частиц (E=30-300 кэВ) около границ магнитосферы Земли, открытых в эксперименте ДОК-2 (проект Интербол).

В 2011 г. завершалась работа по анализу и интерпретации данных по ПМИ.

1. Проводился детальный статистический анализ основных характеристик пучков ПМИ для ~800 событий ПМИ.

- Уточнялась средняя длительность событий ПМИ.

- Сравнивались отношения между площадями линий протонов и альфа-частиц в спектрах ПМИ (S1/S2), измеренных в эксперименте ДОК-2 с отношениями плотностей этих ионов, измеренных в солнечном ветре (Np/Na) в проектах WIND, GEOTAIL, ACE, IMP-8.

- Продолжались работы по изучению изменения энергии и интенсивности протонной линии в первые 30 секунд после начала процесса ускорения.

2. Сравнивались угловые распределения энергичных ПМИ с угловыми распределениями для ионов с гладкими спектрами. Хотя детекторы ДОК-2 просматривали лишь небольшую часть углового пространства, из полученных результатов следует, что угловые распределения (питч и азимутальные углы) для пучков ПМИ оказались узкими ($<15^\circ$) и сильно отличающимися от распределений ионов с обычными спектрами.

3. Подготовлены материалы и опубликована статья, суммирующая результаты изучения свойств пучков ПМИ, полученные в 2008-2011 гг. в журнале *Annales Geophysicae*. Прделанная работа удостоена первой премии в номинации «Лучшая работа Института» в конкурсе 2011 г.

Научный руководитель в.н.с. к.ф.-м.н. Луценко В.Н., отд.54

Гаврилова Е.А., тел. (495)333-44-22

Завершение работ по подготовке и передаче в архив данных сеансов по проектам «Космос-900» и «Болгария-1300».

Работы по подготовке и передаче в архив данных сеансов по проектам «Космос-900» и «Болгария-1300» завершены.

Рудневская Л.В. тел. (495)333-50-45

16. Исследования по системам обработки и сжатия видеоданных.

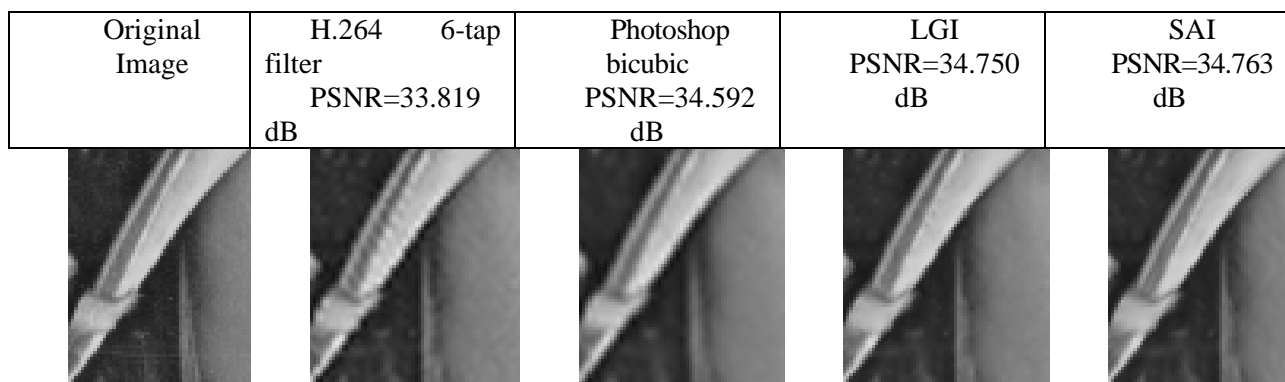
1. Разработка метода интерполяции растровых изображений, основанного на оценке локального градиента яркости.

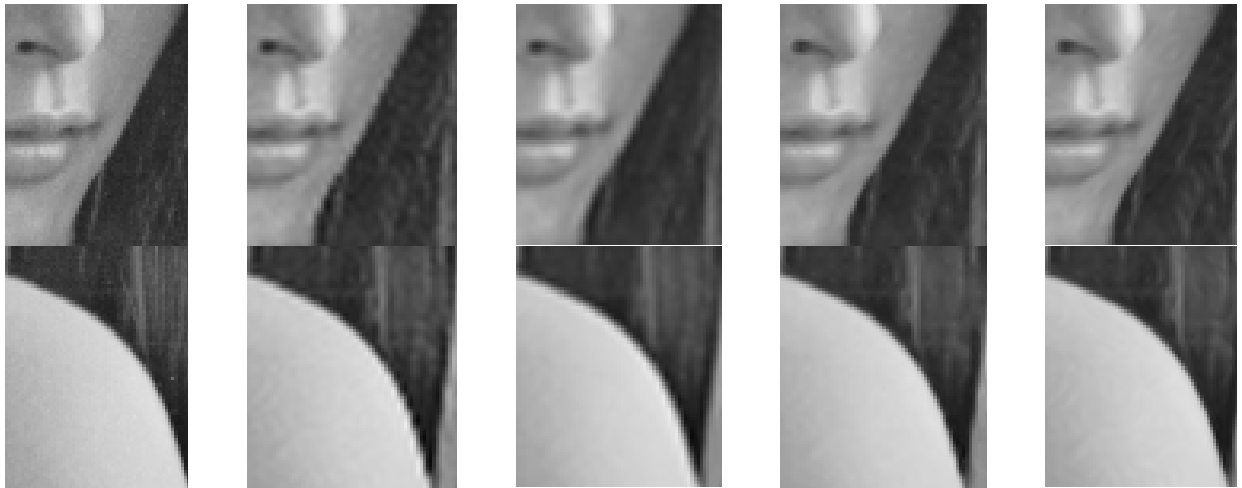
В 2011 г. продолжалась разработка эффективных методов интерполяции изображений, ориентированных на использования в схемах сверхразрешения (superresolution). Известно, что существенной проблемой широко распространённых методов пространственной интерполяции растровых изображений являются привносимые ими артефакты (размытие границ, эффект Гиббса, зиппер-эффект), воспринимаемые схемами суперразрешения как шум, фильтрация которого приводит к снижению чёткости изображения. Такое снижение чёткости особенно критично в схемах суперразрешения, основная задача которых состоит в повышении пространственного разрешения изображений за счёт использования нескольких последовательных кадров низкого разрешения. К числу наиболее распространённых методов интерполяции относятся бикубическая, билинейная (в частности – одна из её модификаций, используемая в стандарте сжатия видеоданных MPEG-4 AVC (H.264) – шеститочечная интерполяционная схема). Значительно меньшее распространение получили авторегрессионные схемы интерполяции (типичный пример – схема Soft-decision Adaptive Interpolation, SAI), и несколько уступающие SAI схемы, использующие методы обнаружения границ (EDI, NEDI). Меньшая распространённость таких схем интерполяции связана не в последнюю очередь с их сложностью. В качестве альтернативной была разработана простая в реализации схема, обеспечивающая высокое качество интерполированных изображений, построенная на оценке локального градиента яркости (LGI).

Результаты сравнения интерполированных тестовых изображений с оригинальными (в метриках PSNR и MSSIM) при использовании LGI и SAI приведены в следующей таблице (был использован набор изображений Old JPEG test set). Здесь большее значение – лучшее. Для оценки производительности использовался PC на базе процессора DualCore AMD Opteron 165 CPU, 2250 MHz, режим single-thread mode.

Изображение	Размер, пикс.	LGI		SAI	
		PSNR, dB	MSSI M	PSNR, dB	MSSI M
crowd.pgm	512x512	33.278	0.960	32.786	0.960
lena.pgm	512x512	34.750	0.932	34.763	0.929
man.pgm	512x512	31.080	0.909	31.202	0.911
peppers.pgm	512x512	33.360	0.906	33.180	0.902
sailboat.pgm	512x512	30.684	0.886	30.539	0.881
board.pgm	720x576	32.269	0.944	32.074	0.942
girl.pgm	720x576	35.420	0.949	35.209	0.949
gold.pgm	720x576	31.680	0.889	31.322	0.888
hotel.pgm	720x576	30.985	0.916	30.897	0.914
zelda.pgm	720x576	36.618	0.938	34.843	0.934
Производительность	МБайт/сек	2.362		0.0128	

Ниже приводятся увеличенные участки изображений, позволяющие визуально оценить эффективность разработанной схемы (фрагменты тестового изображения lena.pgm).





Сравнение различных схем интерполяции изображений

2. Разработка адаптивного метода сжатия динамического диапазона яркости растровых изображений.

Была продолжена разработка быстрого адаптивного метода сжатия динамического диапазона (FAR) изображений разрядности 9-16 bpp до 8 bpp, обеспечивающего преобразование изображений в реальном времени и с высоким качеством.

Традиционно используемый при сжатии динамического диапазона метод статической эквализации гистограмм обеспечивает высокую скорость преобразования изображений, но обладает малой избирательностью. В то же время динамическая эквализация, позволяющая сохранить детализацию во всём диапазоне яркостей, достаточно сложна в вычислительном отношении, поскольку предполагает построение и выравнивание полных гистограмм в окрестностях каждого пиксела оригинального изображения.

Предложенный метод быстрого адаптивного сжатия динамического диапазона использует предварительную сегментацию изображения, построение зонных гистограмм яркостей для каждого определённого сегмента. Число зон определяется разрядностью изображения. Как показали эксперименты достаточным является 8-12 зон. В последующем для преобразования каждого пиксела оригинального изображения используются зонные гистограммы, соответствующие четырём ближайшим к данному пикселу сегментам.

Ниже представлены «битовые срезы» исходного 12-битового изображения и результат использования разработанного метода адаптивного сжатия динамического диапазона FAR.



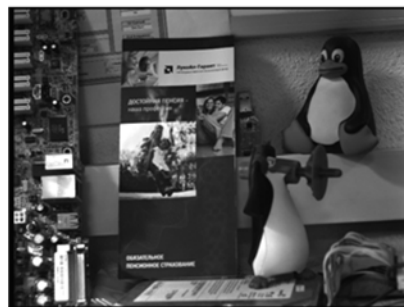
0...7 bits



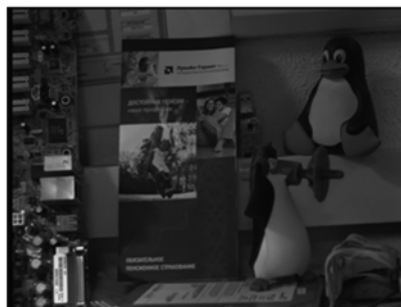
1...8 bits



2...9 bits



3...10 bits



4...11 bits



FAR

3. Разработка регион-ориентированного подхода при сжатии изображений.

Для повышения коэффициента сжатия без заметного увеличения ошибки восстановления в системах видеокompрессии был разработан метод сжатия изображений без искажений и с ограниченной ошибкой, обеспечивающий сжатие с заданным уровнем потерь в зависимости от степени значимости ROI (region of interest) от lossless для области ROI-0 до near-lossless с уровнем потерь N для области ROI- N . Предложенный метод сжатия построен на основе адаптивного предсказателя, использует простую и быструю схему контекстного моделирования и адаптивную однопроходную схему статистического сжатия на основе кода Голомба. Использование предложенного подхода в случае, когда площади ROI-0, ROI-1 и ROI-2 составляли соответственно 25, 40 и 35% от общей площади изображения, обеспечило при сжатии серии тестовых изображений средний коэффициент сжатия 2.78^x против 1.92^x при использовании режима lossless.

Результаты разработки были представлены на конференции "Техническое зрение в системах управления-2011".

Гл. спец., к.т.н., И. М. Книжный Тел. (495)333-13-01. E-mail: kim@mx.iki.rssi.ru

Инициативная работа

Анализ методов искусственного интеллекта, пригодных для создания систем управления высокой степени автономности.

Был проведен предварительный анализ методов искусственного интеллекта, пригодных для создания перспективных систем управления высокой автономности, способных функционировать при отсутствии дистанционного управления со стороны человека-оператора. В настоящее время выявился достаточно большой круг задач, в которых использование классических методов дистанционного управления, наталкивается на серьезные трудности.

Во-первых, для реализации такого управления требуется организация обмена информации с достаточно высокой скоростью (передача изображений) и надежностью (передача телеметрии и команд). Затраты на организацию такого обмена значительно возрастают при управлении на больших и очень больших расстояниях. В частности, при управлении космическими аппаратами требуется создавать и поддерживать сеть наземных командно-измерительных комплексов, инфраструктуру передачи информации между ними и центром управления полетами, включающую в себя спутники связи и приемные центры. Подобная инфраструктура оказывается весьма уязвимой для воздействия как естественных, так и искусственных помех.

Во-вторых, большие расстояния обуславливают значительные задержки распространения радиосигнала. Это делает принципиально невозможным дистанционное управление быстропротекающими процессами. К сожалению, большинство методов искусственного интеллекта оказываются непригодным для использования в системах управления реального времени.

На основе анализа обширной литературы по искусственному интеллекту выделены направления, пригодные для создания систем управления высокой степени автономности. Указанные методы применимы как для космических аппаратов (роботов), так и для наземных роботов и беспилотных летательных аппаратов.

Vladimir Grishin "Application of Artificial Intelligence Methods in Unmanned Aerial Vehicle Control" // Статья принята к публикации журналом Journal of Information, Intelligence and Knowledge (JIК). По предварительным данным она будет опубликована в Volume 3 Issue 4 в конце 2011 или в начале 2012 года. https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=31479

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

Организация и проведение конференций

В 2011 году (с 15 по 17 марта) при активном участии сотрудников **отдела 71** была проведена вторая научно-техническая конференция “Техническое зрение в системах управления - 2011”. Целью проведения конференции является обмен научно-технической информацией и опытом разработок практических систем технического зрения. К участию в конференции приглашались специалисты в области аппаратного, программного и алгоритмического обеспечения систем технического зрения, а также в области управления мобильными объектами с использованием технического зрения.

На конференцию зарегистрировались более 140 участников и слушателей. Количество запланированных докладов – 66. Заслушано докладов – 58. По результатам работы конференции будет издан сборник трудов.

Раздел 5.3 КОСМОС

Отв. исп. к.т.н. Коноплёв В.В.

1. Модернизация и развитие научной космической сети «КОСМОС»

За отчетный период были проведены работы по сопровождению и дальнейшему развитию ряда сегментов сети Института. Был введен в эксплуатацию экспериментальный сегмент локальной вычислительной сети с единой схемой централизованного управления и удаленного администрирования, обеспечивающей высокий уровень сетевой и информационной защиты. Одновременно была усовершенствована система управления и мониторинга сети «КОСМОС». В частности, был разработан новый интерфейс системы с расширенной функциональностью для получения большего количества уровней аналитической информации.

В целях информационной поддержки научного проекта «Фобос-Грунт» было осуществлено расширение соответствующего сетевого сегмента построением виртуальных каналов связи с внешними организациями ИПМ РАН, АКЦ ФИАН и НПО им. С.А.Лавочкина. В рамках работ по развитию научной космической сети были проведены организационные работы по оптимизации используемого пространства публичных IP адресов сети, выработан план и инициирован процесс перехода на новую схему адресации, включая перевод инфраструктурных сетевых сервисов и предварительные консультации с пользователями.

Выполнено расширение пропускной способности внешнего канала на MSK-IX до 1Гбит/с. Проведены предварительные работы по организации логического подключения к ассоциации E-Арена в целях оптимизации доступа к научно-образовательным сетям GEANT2.

А.Б. Александров, abba@cosmos.ru

Проведен сравнительный анализ основных классов технологий виртуализации включающий технологии контейнеров, паравиртуализацию и полную виртуализацию. Предложен модельный метод для определения оптимальных характеристик вычислительных узлов ЦОД с точки зрения отношения производительность/цена. Проведена реорганизация существующей системы хранения, входящей в состав сети хранения данных ЦОД. Произведено пилотное развертывание платформы облачных вычислений OpenStack на базе действующих вычислительных ресурсов ЦОД.

Раздел 5.4 Вектор_УС

Отв. исп. д.т.н. Аванесов Г.А.

5.4.1. Исследование взаимодействия инерциальных и оптических датчиков ориентации КА, интегрированных в приборе БОКЗ-МФ.

Отв. исп. к.т.н. Бессонов Р.В.

Интегрированные приборы серии БОКЗ-МФ предназначены для определения параметров ориентации КА в инерциальной (второй экваториальной) системе координат. Информация об угловом движении формируется на основе совместной обработки данных измерений оптического звездного датчика и датчиков угловой скорости (ДУС), которые входят в состав прибора.

В составе первой модификации прибора БОКЗ-МФ использовались микроэлектромеханические д.у.с. ADIS16251, которые обеспечивали формирование данных об ориентации на этапах неработоспособности оптического датчика, но с заведомо низкой точностью. Точность этих данных была достаточна для их использования в качестве априорной информации, что позволило значительно сократить время восстановления работоспособности оптического датчика после засветки поля зрения прибора или по завершению маневра с большим угловым ускорением.

В новой модификации интегрированного прибора БОКЗ-МФ30/500 используются микроэлектромеханические ДУС CRG20, точность которых сравнима с точностью измерений оптического датчика. При компенсации систематических уходов датчиков CRG20 их точность достаточна для определения координат фрагментов кадра, содержащих изображения звезд, что позволяет существенно расширить диапазон рабочих угловых ускорений прибора. При высоких угловых скоростях точность измерений ДУС. выше, чем у оптического датчика. Поэтому с помощью введения весовых коэффициентов измерений оптического датчика и ДУС. удастся повысить точность определения ориентации. Значения весовых коэффициентов являются функцией от абсолютной величины угловой скорости. Для устранения систематических ошибок ДУС. был проведен ряд экспериментов, позволивших определить зависимости основных параметров датчиков CRG20 (смещение нуля, масштабный коэффициент) от величины температуры, напряжения и абсолютной величины угловой скорости.

На данном этапе проведена проверка функционирования ДУС в составе прибора БОКЗ-МФ30/500 в широком диапазоне температур. Разработана и опробована методика высокоточного определения направления чувствительных осей ДУС относительно внутренней системы координат оптического датчика. На основе стенда динамических испытаний и трехосной поворотной платформы создано рабочее место для проверки функционирования программно-математического обеспечения интегрированных приборов (рис. 1). В настоящее время осуществляется проверка программно-математического - обеспечения прибора на стенде и настройка параметров алгоритма.



Рис. 1. Прибор БОКЗ-МФ30/500 на стенде динамических испытаний

Публикации по теме:

1. Р.В. Бессонов, С.А. Дятлов, А.Н. Куркина. Результаты наземных испытаний микромеханических датчиков угловой скорости CRG20 и SIRRS01. Вторая Всероссийская научно–техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Сборник трудов, 13-16 сентября 2010, Россия, Таруса. ИКИ, 2011.
2. Г.А. Аванесов, Р.В. Бессонов, С.А. Дятлов, А.Н. Куркина, В.В. Сазонов. Алгоритмы совместной обработки данных измерений звездных координаторов и микроэлектромеханических датчиков угловой скорости. Вторая Всероссийская научно–техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Сборник трудов, 13-16 сентября 2010, Россия, Таруса. ИКИ, 2011.

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

Отв. исп. к.т.н. Бессонов Р.В.

Автономное решение навигационной задачи на воздушных и космических объектах основано на использовании астроинерциальных средств, включающих инерциальную навигационную систему (ИНС) и астрокорректор, компенсирующий дрейфы ИНС. Эти два устройства взаимодействуют совместно на протяжении всей истории техники в авиации, космонавтике, ракетостроении и других приложениях, требующих высокоточной автономной навигации.

Исторически ИНС развивались от платформенных карданных систем к бесплатформенным аналогам. При этом ограниченный в движениях и надежности карданный подвес условно заменялся на мощный вычислитель и программно-математическое обеспечение обработки показаний датчиков угловых скоростей и акселерометров с целью вычисления траектории движения объекта. Результатом развития бесплатформенных ИНС

(БИНС) стало создание целого ряда инерциальных чувствительных элементов и систем, собранных на них, отличающихся габаритно-массовыми показателями, точностью, стоимостью и применением.

Астрокорректоры получили распространение при решении космических задач и десятилетия назад представляли собой узкопольные оптические системы сначала с ручным, а впоследствии с автоматическим наведением на одну или несколько наиболее ярких звезд на небосводе и удержании астроориентира в поле зрения прибора. Дальнейшее развитие астрокорректоров в космосе шло по пути создания широкопольных оптико-электронных систем, способных наблюдать в поле зрения группу звезд и, сравнивая их изображения с звездным каталогом, покрывающим всю небесную сферу, автоматически вычислять параметры трехосной ориентации при любом положении объекта без наведения. Решение этой задачи требовало в первую очередь координатно-чувствительных фотоприемников ПЗС и вычислителя со сложным программно-математическим обеспечением. Совершенствование бесплатформенных астроприборов в последнее десятилетие в космической технике привело к созданию быстродействующих, надежных и помехозащищенных приборов звездной ориентации, способных работать практически на всех участках полета космического аппарата (КА) и в ряде приложений существенно снизить требования к гироскопии на борту.

В авиационных и околоземных приложениях в астрокорректорах и по сей день не произошло перехода на полностью бесплатформенный вариант исполнения по причине очень больших фоновых засветок оптической системы при работе в дневных условиях освещения. Фактически от астрокорректора требуется визировать звезды днем при близких углах Солнца, и эта задача была решена как в СССР, так и в США с использованием узкопольных систем с наведением на одну или несколько наиболее ярких звезд. В качестве примера можно привести разработку американской компании Nortrop Grumman LN-120, в которой используется БИНС, основанная на лазерных гироскопах и кварцевых акселерометрах, и узкопольная астросистема с возможностью наведения на 57 наиболее ярких звезд. Американские специалисты позиционируют свою разработку как самую точную в мире среди автономных систем по указанию курса — 20". Точность определения углов крена и тангажа составляет 3'. Основная трудность при построении широкопольного аналога АБУ состоит в необходимости регистрации звезд, которые в 15-30 раз тусклее самых ярких 50-70 звезд, используемых в качестве астроориентиров у узкопольных приборов с наведением.

Построение бесплатформенного астровизирующего устройства (АВУ) требует оптимизации оптико-электронного тракта в следующих направлениях. Для визирования большего количества ярких звезд требуется увеличение поля зрения. При этом в первую очередь следует увеличивать размер ПЗС-матрицы, выбирая соответствующий объектив с минимальными виньетированием и геометрическими искажениями по всему полю зрения. Кроме того, требуется увеличивать угловое разрешение системы, причем в большей степени за счет использования маленького пикселя, нежели увеличения фокусного расстояния. Угловое разрешение так же существенно связано с качеством объектива и его способностью собирать изображение бесконечно удаленного источника света – звезды – вплоть до дифракционного предела. АВУ должно быть рассчитано на работу в красной и ближней ИК-области спектра, фильтруя «синее» свечение атмосферы из поля зрения системы. Кроме того, нельзя забывать, что система должна работать в условиях угловых колебаний носителя, а, значит, иметь короткие экспозиции во избежание распределения полезной энергии от звезды по плоскости ПЗС-матрицы.

После проведения детального фотометрического расчета для различных вариантов построения АВУ с использованием наиболее современных, широкоформатных ПЗС-матриц и реально достижимых характеристик объективов был сделан ряд выводов.

Во-первых, ни одна из современных ПЗС-матриц или КМОП-матриц не позволяет решить задачу визирования группы звезд в любом участке небесной сферы на одном кадре. В некоторых местах звезды столь тусклы, что АВУ не способно выделить их полезный

сигнал на фоне фотонного шума от рассеянного света в столбе атмосферы в поле зрения прибора при углах Солнца близких к полю зрения.

Во-вторых, вследствие того, что фотонный шум носит статистический характер, ясно, что его уровень падает после усреднения серии кадров. Было показано, что при низких собственных шумах астрокамеры в результате усреднения кадров шум падает пропорционально корню квадратному из количества усредняемых кадров. Однако при использовании алгоритма усреднения необходимо обеспечить сведение сигнала от звезд с точностью до пикселя, а лучше даже точнее. Для решения этой задачи при построении астроинерциальной навигационной системы (АИНС) использовались показания об угловых эволюциях носителя, измеренные высокоточной БИНС. Интеграция производилась с БИНС основанной на лазерных гироскопах и кварцевых акселерометрах.

В настоящее время разработан и собран макет АИНС, разработано ПМО, проведена наземная отработка макета и проведены его летные испытания. Экспериментально показано, что при работе АИНС в ночных условиях, когда не требуется реализация алгоритма усреднения, точность астрокоррекции составляет 1" по тангажу и крену и 4" по азимуту. При этом астрокоррекция выполняется с частотой 1 Гц при плавном движении самолета и угловых скоростях до 0,5 град/с. При углах Солнца близких к полю зрения — около 35 градусов от оптической оси, при полете на высоте 10 км, т.е. выше 90% общей массы атмосферы для устойчивого визирования группы звезд требуется усреднение около 50 кадров, которые при плавном движении могут быть получены за 1-1,5 минуты. При работе с уровня моря при таких же близких углах Солнца условия значительно хуже, и может потребоваться более 300 кадров для сложения, которые на сегодняшний день будут получены за 5-6 минут. За такие интервалы времени высокоточная БИНС, уходит менее чем на один пиксель АБУ, обеспечивая гарантированное выполнение алгоритма усреднения. Более того, экспериментально показано, что вследствие сведения звезд в дневных условиях освещения точность определения параметров ориентации ухудшается не более чем в два раза, если сравнивать ее с точностью, достигнутой при работе ночью по одному кадру.

Наибольший интерес представляют точностные характеристики, достигнутые в бесплатформенном АИНС. В режиме коррекции БИНС по данным АБУ и спутниковой навигационной системы (СНС) точность определения навигационных параметров определяется точностью последних двух устройств, и составляет менее 2" по местной вертикали и менее 8" по курсу. Точность определения координат по СНС составляет единицы метров. При работе в полностью автономном режиме при коррекции только АБУ, точность определения местной вертикали составляет менее 20", а курса менее 15".

В результате работы показано, что построение полностью бесплатформенных АИНС, позволяющих решить задачу круглосуточной автономной навигации в авиационных, а, возможно и других околоземных приложениях возможно и целесообразно. Такие системы могут быть более надежными, высокоточными, дешевыми и обладать меньшими габаритно-массовыми показателями по сравнению с платформенными узкопольными аналогами. Очевидно, дальнейшее развитие широкопольных АБУ, которое будет происходить в ближайшее десятилетие, аналогично пути совершенствования приборов звездной ориентации в космической технике.

Публикации по теме:

1. Г. А. Аванесов, Р. В. Бессонов, В. А. Ваваев, Е. А. Мыслик, А. Н. Куркина, Н. И. Снеткова, М. Б. Людомирский, И. С. Каютин, Н. Е. Ямщиков Бесплатформенная астроинерциальная навигационная система авиационного применения
2. А. Н. Лукин Применение методов автоматизированного проектирования при разработке приборов
3. О. В. Филиппова Разработка комбинированной светозащитной бленды звездного датчика

5.4.3. Оценка точности определения местной вертикали по изображению линии горизонта для пилотируемых и беспилотных ЛА.

Отв.исп. к.т.н. Гришин В.А. отд.71

1. Завершение работ по теме “Фобос-грунт”.

На борту космического аппарата (КА) “Фобос-Грунт” установлена телевизионная система навигации и наблюдения, которая решает целый комплекс задач, в число которых входит измерение дальности (высоты) до визируемой поверхности. Измерение высоты осуществляется стереоскопическим методом. Калибровка камер осуществляется на Земле. Однако вследствие длительного перелета в космосе (перегрузки на этапе выведения, температурные деформации и т.п.) значения конструктивных параметров могут меняться, что чревато появлением заметных ошибок измерения высоты.

Были проведены расчеты максимальных по модулю относительных ошибок измерения высоты (в процентах) в зависимости от разброса конструктивных параметров для двух сценариев посадки ИПМ им. М. В. Келдыша на высотах, меньших 5500 м. Совокупное влияние всех разбросов дало максимальное значение относительной ошибки измерений в 1,01%, что можно считать вполне приемлемым, тем более, что это величина максимальной ошибки при всех возможных сочетаниях.

Поскольку команды на съемку изображений стереопары подаются асинхронно с интервалом времени 5 мс, возникла необходимость оценки влияния этой асинхронности на точность измерения дальности (высоты).

На рис. 1 приведены графики ошибок измерения высоты как функции времени, обусловленные асинхронностью моментов съемки. На рис. 2 для сравнения приведен график модуля относительной ошибки измерения высоты от времени, обусловленной дискретным характером измерения диспарантности для точного канала измерений. Из графиков следует, что ошибки, обусловленные асинхронностью съемки, в несколько раз меньше ошибок, обусловленных дискретным характером измерения диспарантности.

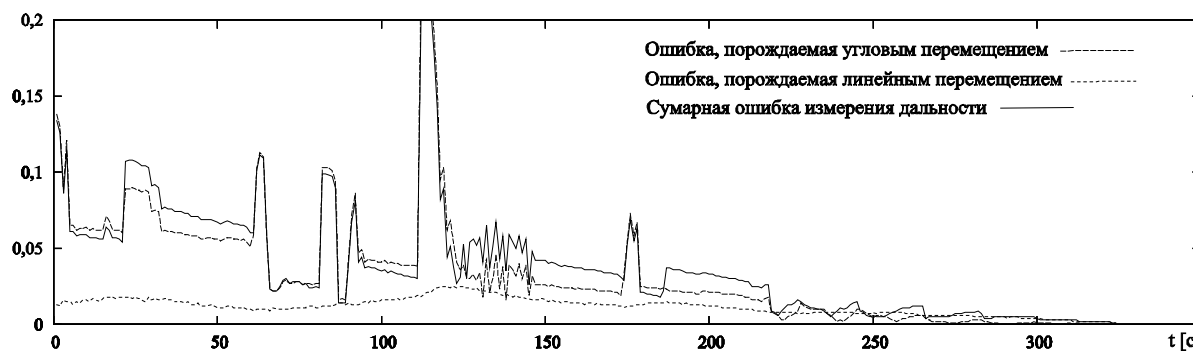


Рис. 1 Графики модулей относительных ошибок измерения дальности (высоты), обусловленных асинхронностью моментов съемки.

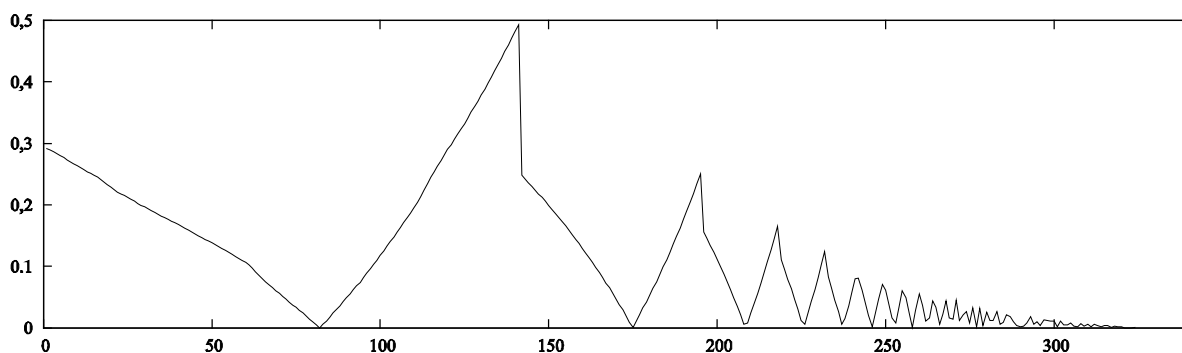


Рис. 2. График модуля относительной ошибки измерения дальности (высоты) от времени, обусловленной дискретным характером измерения диспаратности.

Таким образом, можно считать, что асинхронность съемки стереопары не приводит к заметному ухудшению точности измерений.

2. Экспериментальное определение характеристик обнаружения и распознавания стыковочных знаков, а также измерения относительного положения КА. Получение оценок степени влияния дискретности изображений на надежность обнаружения и распознавания, а также на точность измерений.

Разработан программный комплекс, моделирующий процессы обнаружения, распознавания маркера и измерения координат КА по его изображению. Моделирование производилось для условий, когда отсутствует шум и изображение достаточно контрастно. Основным интерес представляли результаты оценивания дискретности изображения на эти процессы. Распознавание маркера осуществлялось с использованием классической системы инвариантных моментов H_i . Кадр из программы моделирования процесса посадки на маркер представлен на рис. 3. На рисунке виден маркер (белый треугольник на темном фоне) и два строба, охватывающие соответственно треугольник и носитель (фон) маркера.

Получены зависимости среднего значения и СКО инвариантных моментов от дискретности изображения (размера изображения маркера по сравнению с размером пиксела), разворота маркера и его положения. Указанные зависимости необходимы для задания порогов в алгоритмах распознавания. Получены зависимости ошибок измерения дальности (высоты), положения маркера и расстояния в зависимости от расстояния до маркера.

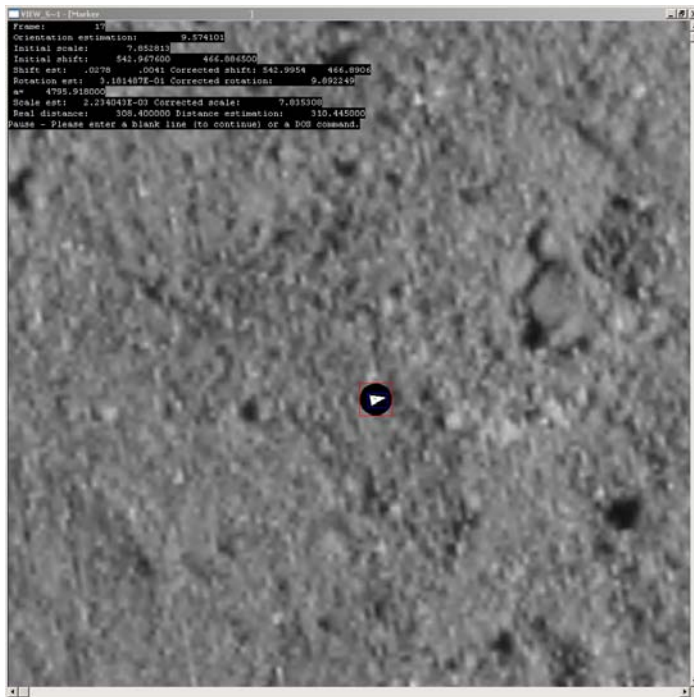


Рис. 3. Кадр из программы моделирования процесса посадки на маркер.

3. Исследование возможностей использования профилометрической информации для решения навигационных задач КА, беспилотных летательных аппаратов и других мобильных объектов.

Профилометрическая информация о поверхности Земли или иных тел Солнечной системы (Луна и Марс) может использоваться для решения навигационных задач. Кроме того, может быть реализовано повышение точности построения местной вертикали для решения навигационной задачи совместно со звездным датчиком, а также повышение точности построения местной вертикали для космических аппаратов и спутников, осуществляющих прицельную съемку заданных объектов с высоким разрешением.

В настоящее время задачи высокоточной навигации в окрестностях Земли решаются с широким использованием имеющихся радионавигационных систем (GPS, ГЛОНАСС). Систему Galileo разрабатывают европейские страны. Ведет разработки радионавигационной системы и Китай. Характерной особенностью таких систем является их высокая степень уязвимости к маскирующим и имитирующим помехам (что объясняется большим расстоянием до навигационных спутников и малой мощностью бортовых передатчиков навигационного сигнала). Поэтому актуальной задачей является создание высокоточных надежных систем навигации, устойчивых к воздействию средств радиоэлектронного подавления. Что касается Луны и Марса, то в окрестности этих тел навигационные спутники, естественно, отсутствуют. Между тем, для выполнения задачи посадки космических аппаратов в заданные точки поверхности также необходимо осуществлять точную и надежную навигацию.

Рассматривается возможность решение навигационной задачи за счет сравнения видимой формы горизонта с расчетной формой линии горизонта, зависящий от координат точки, в которой находится наблюдатель, и профиля поверхности Земли (Луны, Марса) в этом районе. Иными словами, рассматривается возможность создания профилометрические навигационной системы видимого или ИК-диапазонов. Следует подчеркнуть, что радиотехнические профилометрические навигационные системы успешно эксплуатируются уже порядка 50 лет. В частности, такой системой является TERCOM (terrain contour matching), установленная на борту крылатых ракет BGM-109 Tomahawk (США).

Условия функционирования профилометрической навигационной системы оптического диапазона наиболее благоприятны на Луне, поскольку там отсутствует атмосфера. На Земле имеется атмосфера, что является мешающим фактором. Выбором соответствующего ИК-диапазона электромагнитных волн можно получить пренебрежимо малые уровни Релеевского рассеяния и малые величины молекулярного поглощения. Максимальная высота функционирования профилометрической навигационной системы будет определяться уровнем рассеивания на аэрозолях, содержащихся в атмосфере.

Для оценки возможностей решения навигационных задач произведен расчет локальной структуры автокорреляционной функции профиля поверхности. Для этого была использована профилометрическая информация, полученная по результатам миссии Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), выполненной в 2000 году. Использовалась карта с дискретом 1 км. Профиль поверхности, использованной для экспериментов, приведен на рис. 4.

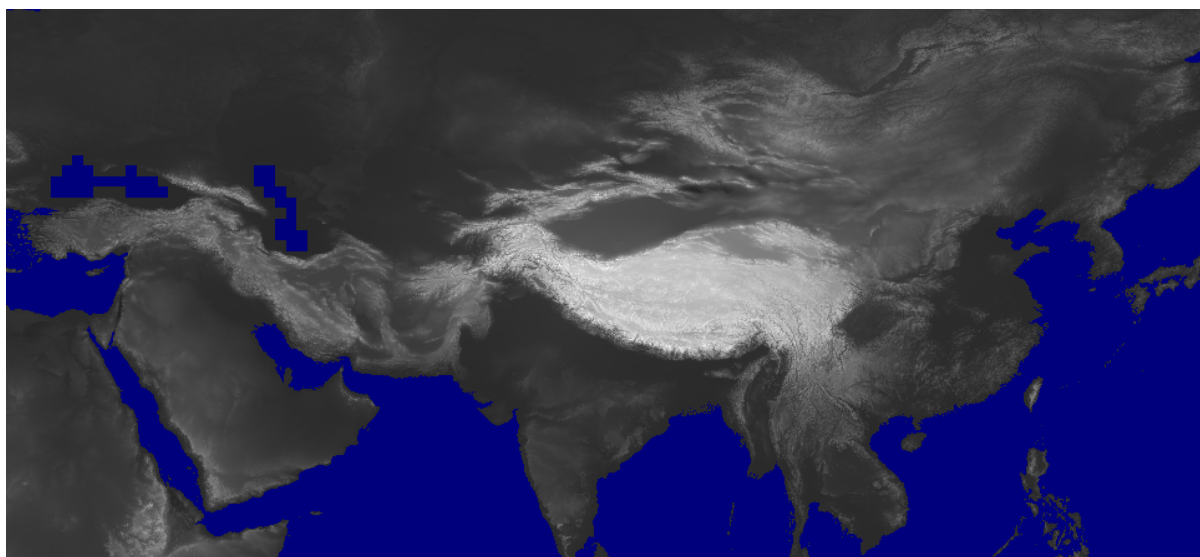


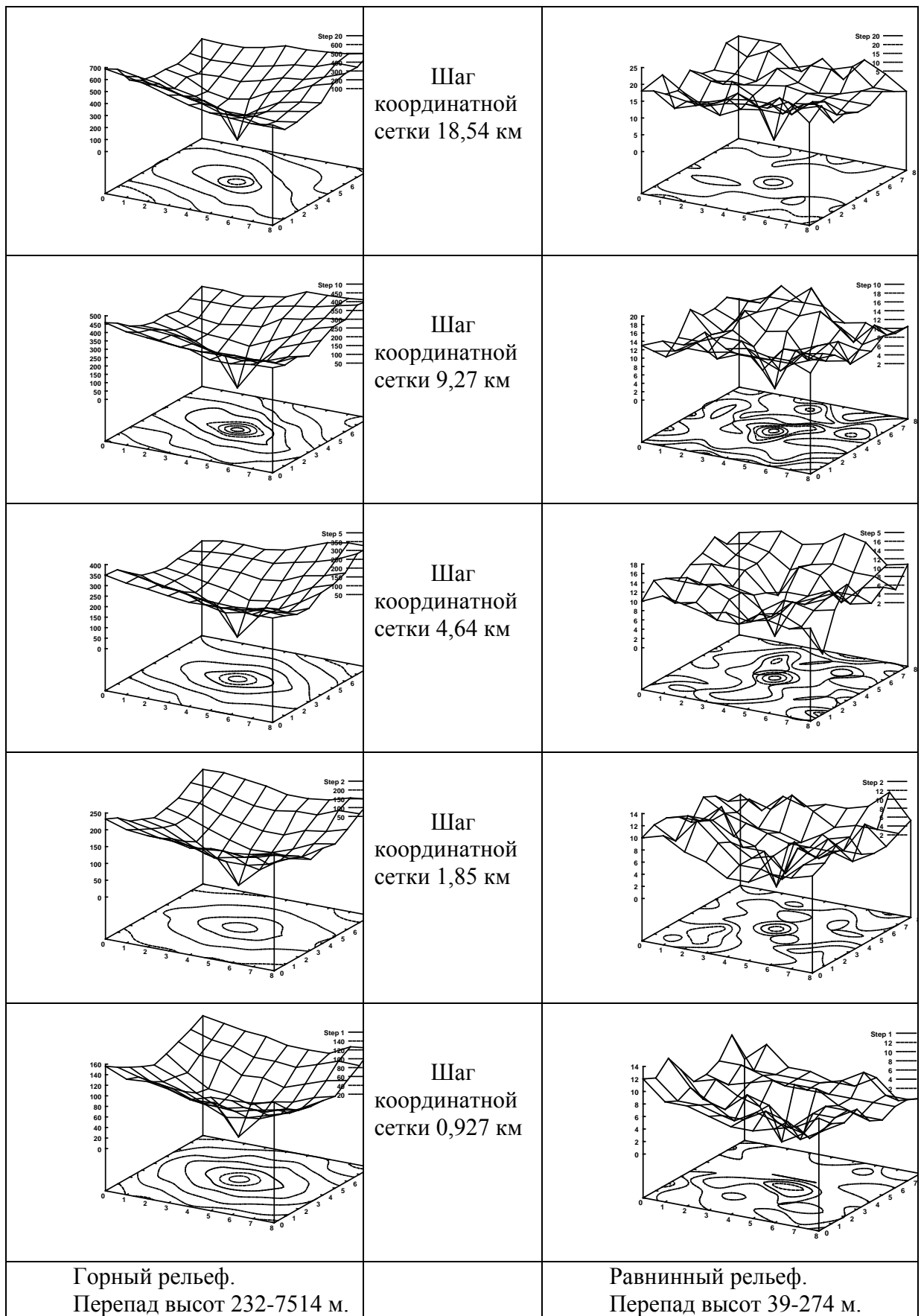
Рис. 4. Профиль поверхности Земли, использованный для экспериментов.

На рисунке условным синим цветом представлены участки, для которых профилометрическая информация отсутствует. Чем больше высота участка поверхности, тем светлее он на изображении.

Структура корреляционной функции (функции сходства) в окрестности экстремума. Для уточнения структуры корреляционной функции были проведены её расчеты по окрестности 9×9 точек. Центр окрестности находился в точке экстремума. Шаг сетки был выбран кратным величине дискрета карты с коэффициентами 20, 10, 5, 2, 1. Соответственно в километрах шаг сетки был равен 18,54, 9,27, 4,64, 0,927.

Результаты расчетов для двух участков поверхности с горным (перепад высот 232-7514 м) и равнинным (перепад высот 39-274 м) рельефом приведены в табл. 1.

Таблица 1.



В ячейках таблицы приведены профили корреляционной функции сходства изображений. Максимальному сходству соответствует минимум функции. Как следует из таблицы, для горного рельефа корреляционный пик весьма острый и паразитные экстремумы

вне этого пика малы, т. е. он хорошо локализуется. Что касается равнинного рельефа, то здесь корреляционный пик выражен менее ярко. Однако и здесь он локализуется достаточно хорошо. Таким образом, предварительные оценки показывают перспективность исследований в области создания профилометрических навигационных систем видимого или ИК-диапазонов.

Публикации по теме:

1. Гришин В. А. Анализ влияния динамики космического аппарата на характеристики алгоритмов обработки изображений системы технического зрения проекта "Фобос-Грунт" // Сборник трудов Научно-технической конференции - семинара "Техническое зрение в системах управления мобильными объектами-2010". Таруса, ИКИ РАН, 16 - 18 марта 2010 г. Вып. 4. Под ред. Р. Р. Назирова. - М.: КДУ, 2011. С. 166-178.
2. Гришин В. А. Верификация результатов процесса установления соответствия в алгоритмах телевизионной системы навигации и наблюдения, обеспечивающих информационную поддержку посадки на Фобос // Сборник трудов Второй Всероссийской научно-технической конференции "Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов". 13-16 сентября 2010 г. Россия, Таруса, ИКИ РАН. С. 338-349.
3. Гришин В.А. Анализ функционирования и оптимизация алгоритмов установления соответствия в условиях неравномерности чувствительности телевизионных камер по полю зрения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 273-280.
4. Гришин В. А. Анализ влияния конструктивно-технологического разброса углового и линейного положения камер, а также асинхронности съемки на характеристики алгоритмов обработки изображений в стереорежиме // Тезисы докладов Научно-технической конференции "Техническое зрение в системах управления - 2011". 15 - 17 марта 2011. <http://tvcs2011.technicalvision.ru/docs/Abstracts2011.pdf>
5. Гришин В. А. Обработка изображений линии горизонта в построителях местной вертикали высокой точности и в навигационных системах // Девятая Всероссийская Открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" ИКИ РАН, 14 – 18 ноября 2011 г. Сборник тезисов докладов. <http://d902.iki.rssi.ru/theses-cgi/thesis.pl?id=2555>