

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

Тема УПРАВЛЕНИЕ Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов

Гос. регистрация № 01.20.03 03442

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

Раздел 5.1. Математические модели планирования космических экспериментов

Отв. исп. д.ф.-м.н. А. С. Ковалева

1. Исследование обратимого и необратимого переноса энергии в слабо связанных нелинейных механических системах.

Исследован энергообмен и перенос энергии в слабо связанных нелинейных системах с переменными параметрами при ударном воздействии. Проведен численный и аналитический анализ переходных и установившихся процессов. Получены условия устойчивого гашения колебаний в системах с присоединенным динамическим гасителем переменной структуры.

ГРАНТ РФФИ 10-01-00698-а

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

2. Развитие системы навигационной и вспомогательно-информационной поддержки космического аппарата в проекте «Чибис-М» на базе системы SPICE.

В концепцию системы навигационной и вспомогательно-информационной поддержки космических аппаратов заложена универсальность, что позволило достаточно быстро адаптировать систему под проект «Чибис-М» после запуска спутника. В результате тесного сотрудничества с командами, работающими с аппаратом, как по его управлению, так и по планированию научных экспериментов, удалось выявить и устранить все отрицательные стороны программного обеспечения. В результате чего на сегодняшний день мы имеем универсальный софт, который полностью автоматизирован и адаптирован под web-интерфейс. А именно, рассчитывает более тридцати параметров, помогающих анализировать и планировать работу аппарата, а также принимать телеметрическую информацию.

В настоящее время ведутся работы по совмещению данной системы с проектом "Луна-Глоб".

Инициативные работы

В рамках технико-экономического обоснования для проекта Венера-Д было рассмотрено несколько вариантов перехода космического аппарата на низкую орбиту планеты. Целью этих исследований было определение оптимального варианта доставки космического аппарата на низкую орбиту Венеры.

Были выбраны оптимальные интервалы проведения экспериментов космической лаборатории ИНТЕГРАЛ. Предполагается использование затенения Центра Галактики и примыкающих к нему областей Луной и Землей. Полученные результаты будут использованны для планирования дальнейших экспериментов приборами Интеграл.

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

3. 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 орбиты 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. Более того были найдены орбиты, которые обеспечивают видимость с Земли в отсутствии любых маневров. Результаты исследований представлены в форме доклада на конференции по космическим операциям в Стокгольме.

*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. Наведение малых астероидов на опасные околоземные объекты для предотвращения их столкновения с Землей с использованием гравитационных маневров.

Концепция использования малых астероидов для отклонения опасных околоземных объектов от траектории столкновения с Землей впервые была предложена еще в октябре 2009 года. Сущность концепции заключается в сообщении достаточно малому астероиду с поперечным размером около 10-15 метров сравнительно небольшого импульса скорости (порядка 10 м/с), с тем, чтобы перевести его на траекторию к Земле, где за счет гравитационного маневра при пролете Земли этот астероид будет направлен на траекторию столкновения с опасным околоземным объектом, например с Апофисом. Однако был оставлен открытым вопрос, а возможно ли найти среди достижимых астероидов такой астероид, который малым импульсом и с помощью гравитационного маневра возможно вывести на траекторию столкновения с Апофисом. Выполненные в этом году исследования впервые в мире показывают, что реализация такого сценария возможна, поскольку в существующем в настоящее время каталоге удовлетворяющие нашим требованиям астероиды имеются. В качестве инструмента наведения малого астероида на опасный объект является гравитационный маневр, а задача Ламберта, как основная составляющая проектирования траекторий.

Важной частью исследований являются оценивание необходимых корректирующих импульсов, компенсирующих ошибки в силу неточных измерений, неточной модели действующих естественных сил и управляющих воздействий при предыдущих маневрах. Особенно это существенно для фаз миссии, когда управляемым объектом становится астероид – снаряд. Эти исследования планируется провести в следующем году, хотя основания для оценки реализуемости предлагаемого метода отклонения опасных небесных объектов от столкновения с Землей имеются уже сейчас.

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

5. Применение качественных методов теории возмущений к практическим задачам выбора и коррекции орбит ИСЗ, эволюционирующих под влиянием внешних гравитационных возмущений.

Применение качественных методов теории возмущений позволило перебросить мост между теорией и практикой при исследовании особенностей эволюции высокоапогейной орбиты ИСЗ Спектр-Р.

Долговременная эволюция орбиты под влиянием внешних гравитационных возмущений имеет периодический характер и приводит к либрационной эволюции перигейного расстояния орбиты спутника. Прогноз эволюции орбиты ИСЗ Спектр-Р под влиянием внешних гравитационных возмущений показал угрозу падения спутника на Землю в конце первого периода долговременной

эволюции орбиты (в конце 2013 года). Для преодоления этой угрозы была успешно выполнена коррекция орбиты, задача выбора коррекции была решена алгоритмическим путём.

Но этот успех не следует считать поводом для успокоения. Отметим, что далеко не всякую орбиту можно успешно корректировать и способ коррекции, выполненный в данном случае вблизи точки апогея орбиты, не является единственно возможным. Мы предлагали и другие возможные варианты коррекции данной орбиты, которые можно осуществить в любой точке орбиты, вплоть до точки перигея, и которые энергетически являются более выгодными. Однако в данном случае, в силу технических ограничений на осуществление коррекции, победил вариант коррекции вблизи точки апогея.

Наши предложения были основаны на качественном анализе эволюции орбиты, базирующемся на теории возмущений. Эти исследования дают повод для преодоления противостояния теории и практики и повод для пересмотра сложившегося стереотипа выбора высокоапогейных орбит.

Долговременная эволюция орбиты определяется начальными значениями пяти элементов орбиты $a, e_0, i, \Omega, \omega$. Эти элементы полностью определяют положение орбиты в инерциальном пространстве. Исходя из угловых элементов, измеренных относительно плоскости Земного экватора, с помощью формул сферической тригонометрии, при известном наклоне плоскости эклиптики к плоскости земного экватора, однозначно определяются угловые элементы орбиты i_0, ω_0 , измеренные относительно плоскости эклиптики (плоскости орбиты возмущающих тел). Так, например, при фиксированном значении $i e q_0$, в зависимости от значения $\Omega e q_0$, наклонение орбиты i_0 к плоскости эклиптики может принимать различные значения, принадлежащие диапазону ($i e q_0 - 23.5^\circ, i e q_0 + 23.5^\circ$). Что касается Луны, как возмущающего тела, то наклон ее орбиты к плоскости эклиптики составляет около 5.5° , а прецессия ее орбиты составляет около 18.5 лет. Эти факторы оказывают определенное влияние на эволюцию орбиты спутника, но в первом приближении ими можно пренебречь и считать плоскость орбиты Луны совпадающей с плоскостью эклиптики

Заметим, что долговременная эволюция орбиты, по существу, определяется значениями угловых элементов, измеренными относительно плоскости эклиптики, и практически не зависит от даты старта. Именно от значения этих угловых элементов, зависит период долговременной эволюции орбиты и значение минимального достижимого перигейного расстояния r_{min} . Особенности этой эволюции описывают полученные М.Л. Лидовым в 1961 году эволюционные уравнения двукратно осредненной задачи Хилла, в которой осреднения выполнены по средним движениям спутника и возмущающего тела.

Кроме долговременной составляющей эволюционного процесса имеются короткопериодические составляющие, связанные с периодом относительного (относительно неподвижной Земли) орбитального движения возмущающих тел.

Описание короткопериодических составляющих дают полученные в той же работе М.Л. Лидова (1961) эволюционные уравнения однократно осредненной задачи Хилла по среднему движению спутника.

Короткопериодические составляющие вносят свой вклад в приращение высоты перигея за оборот спутника по его орбите. Значения этих приращений имеют различный знак в зависимости от углового положения проекции возмущающего ускорения (направленного в сторону возмущающего тела) на плоскости орбиты спутника. Положительный знак приращения высоты перигея за оборот спутника по его орбите соответствует прохождению проекции возмущающего ускорения через первую и третью четверти в геоцентрической орбитальной системе координат, ось ОХ которой направлена в сторону точки перигея (вдоль вектора Лапласа), отрицательный знак – прохождению проекции возмущающего ускорения через вторую и четвертую четверти.

Вклад от короткопериодической составляющей является существенным лишь при малых значениях высоты перигея. И в зависимости от знака приращения, эта составляющая может усугубить ситуацию и привести спутник к соударению с Землёй, либо спасти спутник от соударения.

Короткопериодическая составляющая эволюции перигейного расстояния зависит от движения возмущающих тел и тем самым, явно зависит от времени. И в этом качестве служит поводом для выбора окон старта, а также окон, благоприятных для прохождения точек минимума перигейного расстояния в процессе вековой эволюции орбиты.

А поскольку вклад Луны в короткопериодические изменения высоты перигея является более существенным, чем вклад Солнца, то в течение каждого месяца имеется 2 окна, в которых указанное приращение высоты перигея имеет положительный знак.

Задача коррекции орбиты состоит в том, чтобы путем изменения большой полуоси его орбиты и, соответственно, периода орбитального движения спутника, запустить процесс передвигания спутника вдоль орбиты, что и позволяет к нужному моменту изменить ситуацию во времени к лучшему. Нужный момент – это тот момент, когда перигейное расстояние орбиты спутника проходит через точку минимума в процессе своей долговременной эволюции. А изменение ситуации к лучшему означает, что составляющая приращения высоты перигея, обусловленная короткопериодическим возмущением от Луны, в этот момент имеет положительный знак.

Понятно, что подобная коррекция орбиты может лишь слегка подправить эволюцию орбиты, но не может быть использована для орбит, у которых сама долговременная эволюция приводит к пересечению орбиты с поверхностью центрального тела, и минимальное значение перигейного расстояния становится значительно меньше радиуса Земли R . Тогда никакая коррекция не поможет.

Тому примером может служить орбита КА Хвостовой зонд в проекте ИНТЕРБОЛ (1995-2000). Эту орбиту скорректировать было бы невозможно. Как показано в работе Р.Р. Назирова, В.И. Прохоренко и А.И. Шейхета (2002), время баллистического существования этой орбиты можно было бы значительно увеличить (почти в 3 раза) путем изменения начального значения аргумента перигея ω_0 при запуске спутника на орбиту, но только не путем коррекции.

С другой стороны, для орбит, долговременная эволюция которых не приводит к пересечению орбиты с поверхностью центрального тела, имеется возможность снять вопрос о необходимости коррекции, путем адекватного выбора начального значения геоцентрического перигейного расстояния $r_0 = a(1 - e_0)$ (или высоты перигея $h_p = r_0 - R$) в зависимости от заданного значения большой полуоси орбиты спутника. Для этого начальное значение r_0 нужно выбрать так, чтобы амплитуда колебаний приращения перигейного расстояния за период орбитального движения Луны была бы мала по сравнению с минимальным значением этого параметра r_{min} , достижимым в процессе вековой эволюции орбиты. При этом начальное значение аргумента перигея ω_0 можно выбрать так, чтобы минимальное значение r_{min} совпадало с начальным значением этого параметра r_0 . Тогда коррекция будет не нужна.

И тогда останется единственный повод для коррекции орбиты – обеспечение ограничений на время пребывания КА в тени Земли.

А какова же практика? Пока что значение прямого восхождения восходящего узла Ω_{eq0} (от которого, как было сказано выше, зависят особенности долговременной эволюции орбиты спутника) является заложником сложившегося стереотипа запуска ИСЗ на высокоапогейные орбиты. Сложившийся стереотип запуска состоит в следующем.

Сначала назначается дата старта, а затем, под эту дату выбирается подходящее время старта так, чтобы сразу после старта обеспечивалось положительное приращение периодической составляющей высоты перигея за период орбитального движения Луны.

В результате значение столь существенного параметра, как Ω_{eq0} , от которого фактически зависит и характер, и период долговременной эволюции, и, в конечном счете, время существования орбиты спутника, становится предметом произвола, являясь функцией суммы трех составляющих: даты старта, времени старта и точки старта.

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

6. Баллистическое обеспечение эксперимента “Плазма–Ф” на борту КА СПЕКТР-Р.

Для навигационного обеспечения ежемесячного планирования эксперимента Плазма-Ф регулярно проводятся расчеты орбиты КА СПЕКТР-Р, исходя из начальных условий, получаемых в ИПМ РАН в результате обработки траекторных измерений орбиты. Результаты орбитальных расчетов и основанного на этих расчетах ситуационного анализа регулярно поступают 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
ведуший специалист Н.П. Беляева, nbelyaeva@rambler.ru*

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

1) В рамках проекта Спектр-Р для обеспечения интерпретации данных эксперимента “Плазма–Ф” продолжалась работа по определению 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. Для определения границ интервалов времени, на которых ориентация не меняется, привлекаются данные прибора DSS. Эти данные используются также для оценки точности результатов определения ориентации прибора БМСВ в системе GSE. Разработана новая версия комплекса программ, определяющих ориентацию приборов.

Результаты определения ориентации представлены в виде матриц, выполняющих переход в систему GSE из систем КА и БМСВ. Матрицы размещаются 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 прибора в систему GSE в границах данного интервала. На сервере также размещены описания указанных массивов.

2) 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. Данные прибора DSS регулярно обрабатываются и размещаются на сайте ИКИ РАН.

*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*

7. Оценка точности прогноза координат аппарата вблизи точки либрации.

1. Создана программа построения гало-орбиты КА в окрестности точки либрации L2 для заданного момента старта путем подбора величины большой полуоси орбиты при известных значениях остальных пяти ее элементов.

2. Разработан алгоритм коррекции траектории КА при наличии возмущений, позволяющий удерживать КА на гало-орбите в течение заданного промежутка времени.

3. Проведены численные расчеты для различных дат старта и различных наборов орбитальных элементов.

*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.*

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

Проведены исследования в области разработки математических моделей и компьютерных программ для прогнозирования поведения 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

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

Завершена в основном вычислительная часть программы, позволяющая проводить расчеты параметров течения металла при последовательном локальном деформировании. Проведены предварительные расчеты.

Получены навыки работы с системой инженерных расчетов Nastran и применены при решении трехмерной задачи расчета напряженно-деформированного состояния ледяного покрова с полостями на Европе при приливных воздействиях.

Применены навыки работы в системе твердотельного моделирования и инженерных расчетов SolidWorks при решении трехмерных задач расчета напряженно-деформированного состояния системы челюсть-имплант-зуб при резекции корня и при депульпировании.

Получены навыки работы с системами твердотельного моделирования ZEdit, ZEdit Pro, ZPrint.

Бобер С.А., тел. (495)333-24-33

10. Выполнение расчетов, связанных с дискретным представлением непрерывных объектов сложных пространственных форм, методом конечных элементов. Продолжение изучения САД/САЕ-систем пространственного геометрического моделирования и оценки прочности конструкций.

Подготовка геометрических моделей методами быстрого прототипирования для объектов, полученных 3D-сканированием. Модель представлена в виде поверхностной сетки, состоящей из треугольников. Преобразование полученной трехмерной сетки в гладкую поверхностную и твердотельную модель. Геометрическое моделирование искусственных включений конструкции в программном комплексе SolidWorks. Оценка расчетных случаев при анализе оптимального расположения имплантатов при виртуальном моделировании лечения концевой дефекта зубного ряда. Расчёты напряженно-деформируемого состояния системы для нескольких наиболее распространённых моделей искусственных включений конструкции в программном комплексе SolidWorks.

Прохождение курсов «Анализ линейной статики, частот и форм собственных колебаний и устойчивости конструкции с использованием MSC Nastran и Patran (NAS120)», курс снабжен рядом практических примеров, в том числе и по анализу прочностных расчетов элементов конструкций космических аппаратов.

Обзор работ, посвященных вопросам расчета прочности конструкции биомедицинских систем при космических полетах, возможности сохранения в невесомости присущих костной системе свойств, обеспечивающих противодействие гравитации и гипергравитации, остеодистрофии кости, проявляющейся в уменьшении объемного содержания костной массы, а следовательно и минеральных веществ, проблемам позвоночно-спинномозговых травм.

Полякова Т.В., тел. (495)333-24-33

11. Выполнение расчетов и анализ процессов протаивания ледяных структур. Решение задач Стефана для различных условий проникновения горячего объекта в ледяную структуру. Анализ неоднородностей возникающих в окрестности криоботов.

Движение криобота должно осуществляться протаиванием ледяной массы в окрестности его месторасположения за счет поддержания на поверхности криобота соответствующей температуры. Оборудование должно быть максимально компактно и эффективно. Ограничения на габариты и вес связаны с трудностями транспортировки оборудования на поверхность изучаемого объекта. Форма криобота обуславливает энергозатраты на обеспечение его перемещения в ледяных структурах.

Разработана методика имитационного моделирования движения криобота в ледяном массиве. Проведено численное моделирование в MSC Nastran/ Patran. Проведен анализ влияния рабочих параметров криобота на процесс проникновения под лед. Результаты работы докладывались на российских конференциях и международных научных школах.

Ерохина О.С., тел. (495)333-24-33

12. Свёртывание троса орбитальной тросовой системы (ОТС).

В большей части проектов и предложений с использованием тросовых систем предполагается возможность как раскрытия троса, так и его подтягивания, свёртывания. Последнее необходимо, например, при посадке груза, находящегося на терминале троса, на посадочное место; также

необходимость свёртывания троса может возникнуть для его починки или ревизии. Предполагается, что подтягивание троса можно реализовать с помощью привода.

Моделируя на основе интегрирования уравнений движения орбитальной тросовой системы различные режимы свертывания при произвольном законе управления, можно видеть, что при уменьшении длины троса амплитуда колебаний тросовой системы увеличивается. При дальнейшем уменьшении длины троса груз начинает вращаться около привода, натяжение троса возрастает, что может привести к его обрыву. Для решения задачи свертывания тросовой системы необходимо построить соответствующий закон управления приводом, который реализует подтягивание троса.

Для аналитического анализа динамики движения ОТС использовались линеаризованные уравнения в орбитальной системе координат (оси OL , Or) Наряду с уравнениями, которые описывают движение центра масс груза, необходимо рассмотрение уравнений углового движения груза.

Получены аналитические выражения, позволяющие выбрать алгоритмы требуемого управления режимом подтягивания троса. Управление подтягиванием выбирается на основе анализа уравнения для угла φ - угла между направлением троса и осью Or :

$$\varphi'' = -3 \omega^2 \varphi + 2(\omega - \dot{\varphi}) S_k / S_k$$

$S_k(t)$ - расстояние между точками крепления троса,

ω -угловая скорость движения по круговой орбите,

Предполагалось, что угол φ мал, так что $\sin 2\varphi = \sin \varphi$

После окончания процесса развёртывания троса груз находится в процессе свободных колебаний и в момент времени T достигает крайнего левого положения, в этой точке составляющая скорости $L' = 0$. Начиная с этого момента груз можно подтягивать со скоростью $u = -3\omega L(T)/2$. Груз поднимается вертикально, однако при приближении к приводу угол возрастает, колебательный режим переходит во вращательный, и уравнения перестают описывать процесс движения. Для решения задачи предлагается изменять скорость подтягивания троса в зависимости от его текущей длины. Если в момент T длина троса $S_k(T)$, то далее предлагается изменять длину троса по экспоненциальному закону:

$$S_k(t) = S_k(T) \exp(-u(t-T)/S_k(T));$$

скорость подтягивания в этом случае

$$u(t) = S_k'(t) = -u \exp(-u(t-T)/S_k(T))$$

После подстановки последних выражений в уравнение для φ можно видеть, что решением уравнения является постоянное значение угла: $\varphi(t) = \varphi(T)$

Материал готовится к публикации в виде препринта ИКИ РАН.

д.т.н. Сидоров И.М, с.н.с., к.ф.-м.н. Веселова Г.В.

13. Алгоритм управления стыковкой ракеты с концевым блоком ОТС.

Разработана принципиальная схема решения задачи терминального управления по обеспечению сближения КА с концевым блоком пращи, расположенной на околоземной орбите. В качестве объекта управления (КА) рассматривался разгонный блок, снабженный маршевыми двигателями и двигателями коррекции пространственного положения аппарата. В состав измерительного комплекса входит БИНС и оптический датчик, ориентированный на реперные знаки, установленные на концевом блоке пращи. Были последовательно рассмотрены два этапа решения задачи управления:

1. Задача коррекции параметров движения ракеты-носителя на активном участке полета.

Цель задачи управления - доставка разгонного блока в заданную точку орбиты в заданный момент времени и с заданными конечными параметрами движения.

Было показано, что оценка текущих кинематических параметров движения ракеты с целью их последующей коррекции, может быть выполнена на основе специально разработанных методов динамической фильтрации с достаточно короткой постоянной времени. Для реализации предложенной процедуры фильтрации случайных ошибок измерений были использованы уравнения пространственного движения ракеты на активном участке полёта и текущие показания БИНС.

В предложенном законе управления движением, реализующем поставленную задачу, управляющей величиной является угол отклонения поворотных сопел ракетных двигателей. В качестве параметров, определяющих текущее значение управления, использовались отклонения вектора скорости и координат ц.м. ракеты от расчётных значений, а также отклонение угла тангажа от заданного программного значения.

Результаты расчётов программы моделирования показывают, что в конечный момент времени (момент разделения разгонного блока с носителем) траекторные ошибки могут составлять: по координатам ± 300 м.; по скорости ± 0.2 м/с.

2. Управление процессом сближения разгонного блока с концевым блоком пращи до момента касания.

Здесь предлагается в качестве основного измерительного средства использовать оптический датчик, ориентирующийся в направлении на световые реперные знаки, расположенные на стыковочном устройстве концевого блока. Информация, получаемая с БИНС, используется как вспомогательная.

Был разработан способ восстановления текущих координат и скоростей относительного движения активного объекта по наблюдению одного реперного знака (на больших расстояниях) и конфигурации реперов (на малых расстояниях).

Используя эти данные в реальном масштабе времени и уравнения относительного движения в качестве модели, была реализована процедура динамической фильтрации случайных ошибок измерения кинематических параметров движения (процедура, аналогичная той, что была упомянута выше). Был предложен способ построения закона управления процессом сближения на основе перманентных решений краевой задачи.

Разработана программа моделирования процесса сближения разгонного блока с концевым блоком пращи. Результаты моделирования показывают, что в момент касания ошибки управления по линейным координатам составляют ± 0.02 м, по скорости сближения ± 0.01 м/с.

На основании результатов моделирования можно сделать вывод о том, что поставленная задача, в принципе, может быть решена с использованием современных носителей и современных навигационных систем.

Для решения задачи необходима затрата ракетного топлива, однако количество его можно минимизировать, если ближайшую к Земле пращу установить на орбиту ИСЗ, имеющую минимально возможный радиус. Так как груз выводится на концевой блок пращи при скорости относительно Земли меньшей, чем круговая скорость орбиты, при выводе полезного груза в качестве разгонного блока можно рассмотреть использование авиационно – космической техники.

д.т.н. Сидоров И.М., с.н.с., к.ф.-м.н. Веселова Г.В.

14. Поиск оптимального варианта перелёта полезного груза с околоземной высокоапогейной ОТС к окололунной ОТС на трассе Земля - Луна.

Решение проблемы, указанной в настоящем пункте, необходимо для построения группировки космических объектов, которые могли бы обеспечить транспортировку грузов по трассе Земля-Луна. Принципы построения такой трассы были предложены ответственным исполнителем работ д.т.н. Сидоровым Игорем Михайловичем.

Уже на первых этапах работы над этим предложением было ясно, что «представляет определенные трудности задача прохождения с помощью тросовой системы зоны равного тяготения на трассе Земля – Луна. Теоретически можно построить траекторию движения, которая позволит совершать обмен без затрат энергии. Однако т.к. это возможно только при определенном расположении орбит, то ожидание этого расположения может нанести ограничения на время перелета. По всей видимости, следует отступить от пунктуального соблюдения чистоты идеи и пойти на использование при перелете этой зоны корректирующих импульсов скорости за счет работы двигателей КА» (из доклада Игоря Михайловича на семинаре Р.Р. Назирова).

Однако при моделировании конкретных орбитальных тросовых систем оказалось, что расходы топлива КА на такой перелет весьма значительны. Существуют и другие решения проблемы за счет изменения параметров движения ОТС. Но и они связаны с затратами топлива и к тому же сложны технически. На некоторое время Игорь Михайлович оставил эту проблему без решения, а в марте месяце 2012г. Игоря Михайловича не стало.

В настоящее время появилось много работ, касающихся проблемы перелета Земля - Луна. Рассматриваются так называемые слабоэнергетические траектории («обходного» типа), гравитационные маневры, перелеты с малой тягой и др. для уменьшения расходов топлива. Эти работы, а также оставшиеся записи, расчеты, программы Игоря Михайловича сейчас изучаются для того, чтобы найти оптимальное решение проблемы. Представляется, что работа над этой темой должна быть продолжена.

15. Исследования нелинейной динамики и разработка методов управления системами высокой размерности испытывающих бифуркации. Исследования динамических бифуркаций в системах высокой размерности. Изучение возможностей использования модели динамических бифуркаций для разработки методов прогноза надвигающихся бифуркаций.

Проведенные исследования были посвящены разработке метода прогноза надвигающихся бифуркаций в нелинейном осцилляторе, описываемом системой 18, 26 и 45 дифференциальных уравнений, в условиях меняющегося во времени периода стимуляции внешнего воздействия и возрастающей нелинейности системы. Задача состояла в исследовании притягивающих режимов и их перестройки, а также зависимости сценариев перестройки от изменений параметров системы. В качестве объекта исследования использовались модели сердечной клетки [Ten Tusher and Panfilov 2006; Mahajan et al, 2008; O'Hara et. al.2011]. Рассматривался сценарий перехода от нормального ритма к аритмии, при котором происходит бифуркация удвоения периода и возникает мультистабильность. Понимание сценариев перехода чрезвычайно важно для прогноза возникновения неустойчивости и оценки аритмогенности.

Аритмогенностью антиаритмических препаратов называют их свойство усиливать существующую аритмию или способствовать возникновению новой, опасной для жизни аритмии. В работе проведен анализ используемых экспериментальных методов оценки порога аритмогенности в ритме сердечной клетки при воздействии на нее различных доз антиаритмического препарата. Воздействие антиаритмического препарата моделировалось изменением параметров системы описывающей клетку. Установлено, что традиционно используемые методы не учитывают нелинейные эффекты возникающие в точках бифуркации (запаздывание бифуркаций, мультистабильность), поэтому дают оценку порога с существенным опозданием. Такие ошибки в оценках при создании антиаритмических препаратов могут являться причиной аритмогенности антиаритмических препаратов. Предложен новый метод оценки аритмогенного интервала, включающего в себя точку возникновения неустойчивостей, что позволяет оценивать порог с некоторым запасом, и повышает надежность оценки.

Предлагаемый подход не ограничивается частным примером рассмотренной системы, и может быть использован для прогноза надвигающихся бифуркаций в системах различной природы, например, при испытаниях сложных технических систем на устойчивость, при анализе сложных климатических моделей.

Работа выполнена в сотрудничестве с учеными из университета Оксфорда (*Department of Physiology, Anatomy & Genetics, University of Oxford and Cardiac Electrophysiology Group, Oxford University Computing Laboratory*). Результаты исследований представлены к публикации в журнал *Progress in Biophysics and Molecular Biology, Elsevier*:

E. Surovyatkina, D. Noble, A. Sher, V. Stolbova, D. Gavaghan. Arrhythmogenicity of antiarrhythmic drugs: inevitability or estimation error? Submitted to *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. Ref. No.: PBM-B-D-12-00044.

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

Раздел 5.2. Интеллект. Телекоммуникационные технологии

Отв. исп. Боярский М.Н.

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

Проводилась разработка и оперативное обновление информации на веб-сайте института, включая представление годового отчета института, конкурсов научных работ, аттестации сотрудников, дней космической науки, информации Ученого и диссертационных советов, профкома 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:

- Программа 22 Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы»
- Третий московский международный симпозиум по исследованиям Солнечной системы (3MS3)
- Восьмая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе"
- Международная конференция "Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле"
- International Colloquium and Workshop "Ganymede Lander: scientific goals and experiments"
- Международная конференция «Гидроаэромеханика и космические исследования», посвященная 100-летию со дня рождения первого директора ИКИ АН СССР академика Георгия Ивановича Петрова
- IX Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования"

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

М.И.Шевченко ms@space.ru

М.Н. Боярский mb@rssi.ru

2. Создание системы хранения данных с высокой доступностью на базе платформы облачных вычислений для архива научных космических данных.

Создан программно-аппаратный узел файлового архива на базе сетевой распределенно-реплицируемой файловой системы GlusterFS с тройным резервированием хранимых файлов. Проведены испытания работоспособности, производительности и расширяемости программно-аппаратного узла файлового архива. Выполнено заполнение системы хранения имеющимися в ИКИ РАН научными данными завершенных космических проектов и выполняется регулярное пополнение архива новыми данными эксперимента "Плазма-Ф" КА СПЕКТР-Р. На 11.11.2012 в архиве хранятся 282698 файлов общим объемом 710Гбайт. Проведено тестирование доступа к данным, хранящимся в Архиве, с помощью различных сетевых протоколов

М.Н. Боярский mb@rssi.ru

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

В течение 2012 года был построен экспериментальный вычислительный сегмент, реализующий парадигму облачных вычислений «Инфраструктура как сервис» на базе открытой программной платформы «OpenStack». Данное решение позволило консолидировать вычислительные ресурсы, а также обеспечить единообразное централизованное управление ими. В качестве платформы для развертывания промежуточного программного обеспечения OpenStack была использована операционная система CentOS 6 (свободно распространяемый аналог RedHat 6), отличающаяся устойчивостью и активной поддержкой со стороны производителей оборудования. В рамках работ был введен в эксплуатацию коммутационный сегмент внутреннего обмена данными на базе технологии Infiniband SDR 10Gbps, а также протестирована работа расширений протокола iSCSI для сетей с поддержкой RDMA (iSER). В данный момент в состав вычислительного сегмента входит два вычислительных сервера и центральный сервер управления, совмещающий функции централизованного хранилища данных. В составе централизованного хранилища была использована файловая система ZFS, что позволило реализовать промежуточный уровень кэширования блочных устройств с использованием дисков SSD и получить пятикратное увеличение производительности на операциях произвольного чтения. В целом, в ходе выполнения работ, удалось выработать и частично

реализовать архитектуру, которая при ограниченном бюджете позволяет разворачивать виртуальные вычислительные инфраструктуры корпоративного уровня.

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

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

Создана и отработана наземная инфраструктура академического космического проекта «Чибис-М», обеспечивающая решение всего круга задач наземного информационного обеспечения миссии. Объединяя широкую сеть наземных пунктов (Красноярск, Калуга, Таруса, Панскa Вес, Будапешт), а также большое число участников проекта из различных отечественных (ИКИ РАН, ФИАН, НИИЯФ МГУ и др.) и зарубежных (ЛЦ ИКИ НАНУ-НКАУ(Украина), Университет им. Ётвoса (Венгрия), Институт физики атмосферы Чешской академии наук и др.) научных организаций в единую информационную среду, созданный наземный сегмент обеспечивает прием, обработку и архивирование получаемой информации, а также управление полетом и проведением научных экспериментов проекта.

При этом выполняются следующие основные операции:

1. Прием и обработка телеметрической информации, включая следующие операции:
 - a. Прием и регистрация телеметрической информации на наземных пунктах, а также передачу ее в центральный узел.
 - b. Обработка принятой информации.
 - c. Отображение полученных результатов.
 - d. Размещение результатов обработки и исходных телеметрических потоков в архиве данных проекта, сопровождение архива, включая обеспечение оперативного доступа к данным.
2. Формирование программно-временных последовательностей (циклограмм управления), включая следующие операции:
 - a. Подготовку Долгосрочного плана работ
 - b. Подготовку Среднесрочного плана работ.
 - c. Подготовку краткосрочного плана работ.
 - d. Подготовку программно-временных последовательностей.
3. Подготовка баллистического прогноза.
4. Формирование ограничений технического и технологического плана, которые необходимо учитывать при проведении операций планирования работы.

За отчетный период с помощью созданных средств проведено более 300 сеансов управления экспериментом, получено более 9 Гб научной информации.

Разработанные и реализованные технические решения, использованные при создании наземного сегмента проекта Чибис-М представляют собой уникальный научно-технический задел, который будет применяться при создании наземных систем перспективных научных космических проектов.

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

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

Работа различных научных групп, состоящих из представителей научных организаций, находящихся на достаточно большом территориальном удалении друг от друга представляет собой сложную организационно-методическую задачу. Для решения ее за отчетный период было отработано техническое решение, обеспечивающее такую работу с единым порталом группы посредством удаленного доступа.

Отработка решения проводилась в рамках работ рабочей группы «По оценке возможностей использования наземных средств РАН в фундаментальных научных космических проектах» (создана

решением Совета по космосу РАН № 10310-11). Посредством созданного web - портала данной группы, в работе принимали участие представители практически всех ведущих организаций в области космических исследований.

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

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

6. 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. Полученные результаты были использованы при реализации проектов «Радиоастрон» и «Чибис-М», и продемонстрировали их высокую эффективность. Также была подготовлена концепция сервис ориентированного открытого подхода дизайна наземных информационных систем научных космических проектов.

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

7. 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 2012 года в дополнение к работам по исследованию возможностей использования гибридных вычислительных средств для поиска зависимостей между разнородными измерениями, проводимыми в ходе реализации космических проектов. Была разработана новая версия программного обеспечения унифицированного отображения разнородной информации. Данное программное обеспечение успешно апробировано на результатах измерений комплекса «Плазма-Ф» проекта «Радиоастрон», а также в проекте «Чибис-М» с ее помощью регулярно подготавливаются публикации по данным проектам. К другому направлению работ в данной области следует отнести разработку программного комплекса стереовизуализации различных данных, полученных в ходе реализации научных космических экспериментов.

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

8. Построение имитационной модели цикла мониторинга и управления состоянием природных и антропогенных объектов по данным дистанционного зондирования с аэрокосмических и наземных платформ.

Разработана концепция применения современных методов теории оптимального управления к включению мониторинга состояния природных и антропогенных объектов по данным дистанционного зондирования в непрерывно действующий цикл управления этими объектами типа гомеостаза, включающего их естественный гомеостаз.

В качестве основы для цикла мониторинга и управления состоянием природных и антропогенных объектов предложено использовать современные варианты процесса «предиктор-корректор», использующие аналоги фильтра Калмана, которые не нуждаются в аналитическом представлении и могут быть основаны на моделях, имеющих только алгоритмическое представление. Начата работа по построению компьютерного имитатора таких циклов, который должен служить для тестирования методики.

Разработана методическая и алгоритмическая основа для включения в цикл мониторинга-управления процесса оптимизации характеристик средств мониторинга. Начата работа по программной реализации этой оптимизации в составе компьютерного имитатора циклов мониторинга-управления.

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.

9. Развитие информационной системы оценки и управления риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферного воздуха.

1. Встраивание модуля управления риском для здоровья населения в разработанную ранее информационную систему оценки риска для здоровья населения в связи с загрязнением окружающей среды.

Проведена реконструкция системы с целью обеспечить оптимизацию управления параметрами источников загрязнения (величина и время выброса и т.д.) в технологических ограничениях. Оптимизация должна проводиться в непрерывном режиме, без полного пересчета риска при каждом изменении параметров источников, как это было до сих пор.

2. Перевод всего информационного обеспечения системы с 32-битного на 64-битный вариант с целью увеличения объема единовременно обрабатываемых массивов данных.

Произведен переход на 64-битную компьютерную базу и 64-битные средства разработки (Delphi XE3). Объем массивов данных повышен с 2 -3 ГБ до 16 ГБ (ограничен только наличной памятью компьютера). Уже в практических работах этого года возникла необходимость использовать это расширение (были массивы величиной до 8 ГБ).

3. Полная интеграция в систему модели рассеяния загрязнений в атмосфере AERMOD с обеспечением доступа ко всем опциям модели.

Программное обеспечение системы дополнено средствами, позволяющими использовать встроенные в AERMOD внутренние средства агрегации данных по времени, значительно ускоряющие счет.

4. Продолжение практического использования системы для оценки риска здоровью населения от действующих и строящихся предприятий, а также от транспортных потоков в городах.

Проведено несколько работ по оценке риска для предприятий (наиболее крупное – Астраханский газовый комплекс). Проведена работа по оценке совместного риска здоровью от наиболее крупных предприятий и транспорта Юго-Восточного АО Москвы.

5. Расширение использования космических данных при оценке риска для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферного воздуха.

Исследована возможность реконструкции параметров источника (факела) и атмосферных условий по снимкам Landsat крупных шлейфов загрязнений от отдувок скважин газодобычи. Показано, что есть возможность получать с приемлемой точностью оценки параметров источника (расход газа, недожиг) и, таким образом, уточнять оценки риска для здоровья населения по реальным наблюдениям, а не только по данным, предоставляемым предприятием.

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

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

10. Продолжение обработки данных уникального по длине временного ряда гиперспектральных наблюдений Марса с целью построения по этим данным модели динамических процессов на поверхности Марса.

1. Интеграция данных гиперспектральных наблюдений с глобальной моделью динамики атмосферы Марса LGCM.

В программное обеспечение, используемое для обработки данных гиперспектральных наблюдений, встроено моделирование атмосферы Марса на основе параметров LGCM, опубликованных ее разработчиками.

2. Использование распределенного информационного фильтра Калмана для интерполяции гиперспектральных наблюдений с целью получения сплошного пространственно-временного покрытия.

Продолжена разработка методики моделирования динамических объектов по гиперспектральным наблюдениям, использующая фильтр Калмана. Продолжены эксперименты по пространственно-временной интерполяции гиперспектральных наблюдений Южной полярной шапки Марса (область, где имеется наиболее плотное пространственно-временное покрытие). Целью экспериментов является подбор режима работы фильтра Калмана, при котором в пространственно-временной области, не покрытой наблюдениями, возникает наименьшее количество артефактов.

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.

11. Математическая модель двухэнергетической делительно-разностной радиографии и алгоритм визуализации микрокальцинатов менее 200 мкм в маммографии.

Выявление микрокальцинатов, как ранних предвестников онкологического заболевания, на ранней стадии их формирования, является важнейшей задачей ранней диагностики заболевания. Микрокальцинаты характеризуются как повышенным атомным номером, так и повышенной плотностью. В этой связи выпуклая комбинация нормированных значений эффективного атомного номера и плотности позволяет с большей надежностью идентифицировать микрокальцинаты мельчайших размеров, не выявляемых традиционной, разностной и делительной маммографией.

Для исследования эффективности метода была разработана модель, интерфейс которой представлен на рис. 1.

Проведенное моделирование позволило выбрать рациональные параметры алгоритма визуализации атомного номера, плотности и их выпуклой комбинации.

Для визуализации распределения данных характеристик в реальной молочной железе было создано специальное математическое обеспечение, интерфейс которого представлен на рис.2.

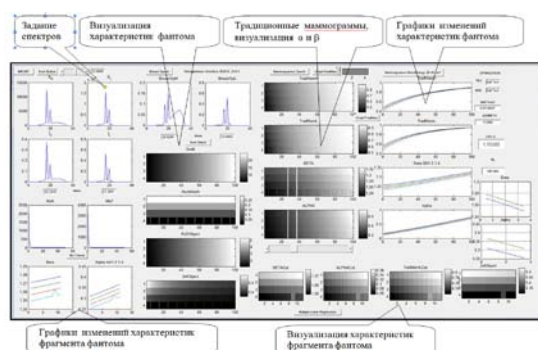


Рис.1

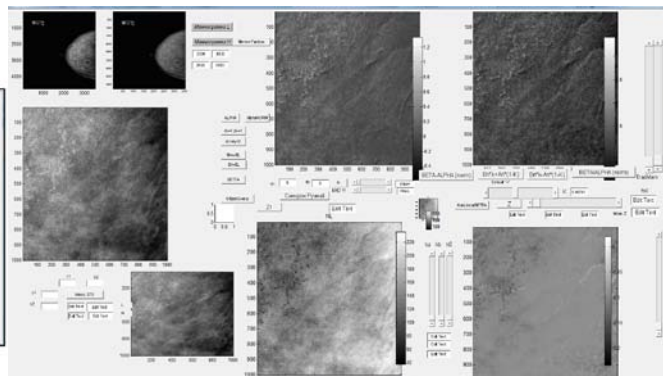


Рис.2

Рис. 3 иллюстрирует эффективность визуализации выпуклой комбинации идентифицированных нормированных значений эффективного атомного номера и плотности. Мельчайшие микрокальцинаты, не выявляемые на традиционной скрининговой маммограмме и с трудом просматриваемые на разностной, на делительной проявляются лучше. На распределении линейной комбинации нормированных значений эффективного атомного номера и плотности эти микрокальцинаты все же идентифицируются более надежно по сравнению с первыми тремя.

Таким образом, можно полагать, что визуализация линейной комбинации плотности и эффективного атомного номера позволяет идентифицировать заболевание молочной железы, связанное с появлением в ней микрокальцинатов, на более ранней стадии их формирования.

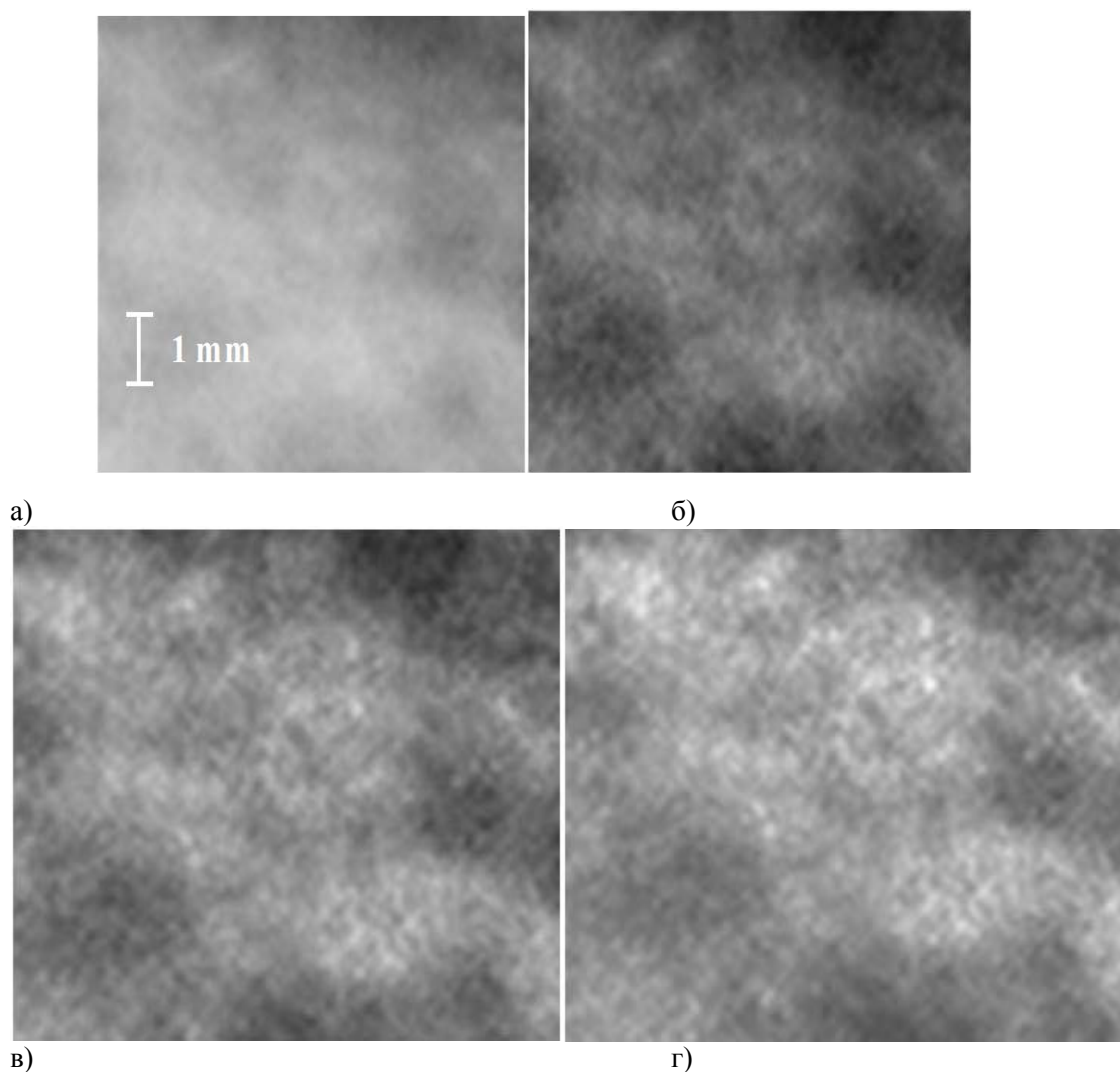


Рис. 3. Фрагменты маммограмм: а — традиционная скрининговая рентгеновская маммограмма; б — двухэнергетическая разностная рентгеновская маммограмма; в — то же делительная; г — то же делительно-разностная — распределение выпуклой комбинации эффективного атомного номера и плотности

Для дальнейшего повышения эффективности выявления микрокальцинов предложен способ двухэнергетической маммографии с использованием специального разработанного и изготовленного фантома с известными распределениями эффективного атомного номера и плотности. На предложенный способ поданы заявки на выдачу патентов (российских и зарубежных).

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

12. 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 разработке новых и модификации существующих программ для первичной обработки данных эксперимента BMSW, входящего в состав эксперимента "Плазма-Ф", полученных с помощью штатной телеметрической системы и через ВПК.
2. Регулярно проводилась систематическая обработка полетных испытаний прибора BMSW, включая работы в Группе управления. Выполнена обработка данных для 380 сеансов связи.
3. Регулярно проводилась сверка бортового времени прибора BMSW и московского декретного времени. По полученным результатам проводилась привязка измерений к всемирному времени (UT).
4. Результаты первичной обработки заносились в систему архивации и распределения

данных приборов эксперимента "Плазма-Ф" на КА СПЕКТР-Р.

Также проводились работы по вторичной обработке данных прибора BMSW, включая работы по модернизации математического обеспечения обработки данных, полученных после восстановления приборного формата и по созданию нового комплекса программ, обеспечивающего обработку данных с большим количеством пропусков и временных инверсий. В 2012 году проводилась систематическая обработка всех поступающих данных прибора и в формировании выходных файлов на сервере эксперимента (V3).

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

13. Алгоритм улучшения качества восстановленных изображений при их сжатии методом Block Truncation Coding для использования в БВС малой вычислительной мощности с ожидаемым эффектом 2-5 dB.

1. Сжатие изображений методом ВТС (block truncation coding), первоначально разработанное для кодирования чёрно-белых полутоновых изображений с числом градаций яркости 4–64 в настоящее время продолжает использоваться также для сжатия фотореалистических изображений (в том числе – в системах технического зрения) несмотря на то, что по эффективности метод уступает стандартизованным методам сжатия (JPEG, JPEG-LS, JPEG2000). Причина такой востребованности связана с особенностями метода, отсутствующими у более современных и эффективных методов сжатия изображений. Во-первых, ВТС обеспечивает заданный постоянный коэффициент сжатия, причём не только для всего сжимаемого изображения целиком, но и для каждого его фрагмента. Во-вторых, сжатые с использованием ВТС изображения обладают высокой устойчивостью к потерям и искажениям при передаче. В-третьих, как при сжатии изображений методом ВТС, так и при восстановлении, требуемое число элементарных операций на пиксел почти на порядок меньше, чем при сжатии/восстановлении изображений по стандарту JPEG, и остаётся постоянным, что существенно при использовании сжатия изображений в системах реального времени. И, наконец, при использовании ВТС оказывается возможным произвольный доступ к нужному фрагменту сжатого изображения (без полной его декомпрессии).

Серьёзным препятствием на пути более широкого применения метода в системах передачи и хранения изображений является больший, чем при использовании JPEG, уровень искажений. Для повышения качества восстановленных изображений при их сжатии методом ВТС был разработан подход, базирующийся на использовании согласованной фильтрации (префильтрация сжимаемого изображения + постфильтрация при восстановлении) и обеспечивающий минимизацию уровня искажений. Разработанный подход не ориентирован на какую-то конкретную реализацию метода и может быть использован с большинством модификаций, обеспечивая выигрыш по PSNR в диапазоне от 2 до 5 dB (в зависимости от заданного размера кодируемого блока и числа уровней квантования) при сжатии изображений с динамическим диапазоном от 2 до 16 бит/пиксел.

В приведённой ниже таблице представлены результаты использования классического ВТС (строка "ВТС") и модифицированного метода сжатия (строка "xВТС") для серии изображений из набора «Old JPEG Test Set» при сжатии в 2, 3, 4.129, 5 и 6.125 раз.

Метод сжатия	Изображение							
	Baloon	Board	Boats	Girl	Gold	Lena	Peppers	Zelda
	5 пикселей, $K_{сж} = 2,000$. PSNR (dB):							
ВТС	40.205	36.947	35.719	38.318	36.160	36.708	38.196	40.208
xВТС	45.873	41.430	40.012	42.801	39.486	41.102	41.103	43.845
	9 пикселей, $K_{сж} = 3,000$. PSNR (dB):							
ВТС	39.995	36.311	34.819	36.652	35.110	34.835	36.409	39.066
xВТС	44.490	39.464	37.885	40.614	37.367	38.856	38.756	41.795
	16 пикселей, $K_{сж} = 4,129$. PSNR (dB):							
ВТС	38.402	34.444	32.792	34.646	33.077	32.880	34.388	36.913
xВТС	43.360	37.490	35.909	38.552	35.638	36.856	37.143	39.788

25 пикселей, $K_{сж} = 5,000$. PSNR (dB):								
BTC	37.694	32.283	31.383	32.745	31.798	31.679	33.072	35.238
xBTC	42.206	36.697	34.925	37.457	34.619	35.720	36.113	39.011
49 пикселей, $K_{сж} = 6,125$. PSNR (dB):								
BTC	35.991	31.395	29.940	31.409	30.316	30.167	31.286	33.712
xBTC	40.731	35.105	33.183	35.515	33.032	34.110	34.591	37.159

Использование BTC для сжатия с высоким качеством изображений с динамическим диапазоном 9-16 бит/пиксел потребовало доработки метода согласованной фильтрации и позволило при сжатии серии тестовых изображений 12 бит/пиксел получить значения PSNR, превосходящие 50 dB

Доклад с описанием предложенного метода был представлен на научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления – 2012» (Москва, ИКИ РАН, 14-16 марта 2012 г.)

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

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

В 2012 г. была продолжена работа по синтезу быстрого адаптивного алгоритма сжатия динамического диапазона яркости растровых изображений из 9-16 бит/пиксел в 8 бит/пиксел, обеспечивающего работу в реальном времени.

Традиционно используемый при сжатии динамического диапазона метод статической (глобальной) эквализации гистограмм обеспечивает высокую скорость преобразования изображений, но обладает малой избирательностью. В то же время динамическая локальная 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.

Разработанный ранее зонный метод быстрого адаптивного сжатия динамического диапазона FAR обеспечивал высокое качество преобразования, позволяющее получать качественное изображение с разрешением мелких малоконтрастных деталей, но требовал минимум четырёх проходов по изображению, что не позволяло использовать его для преобразования изображений HD-формата (1920x1080, 24 bpp) в реальном времени (максимальная достигнутая скорость преобразования составила 43 МБ/с на РС с ЦПУ i7-920). В 2012 г. с чем алгоритм был переработан, число проходов сокращено до 2 без потери качества преобразования, скорость преобразования доведена до 173 МБ/с при преобразовании в один поток, причём структура переработанного алгоритма преобразования позволяет при необходимости для повышения скорости обработки данных эффективно использовать распараллеливание вычислений.

На рисунках ниже представлены результаты преобразования изображения разрядностью 12 бит/пиксел, снятого в контровом свете (источник света – позади снимаемого объекта) с использованием различных подходов: рисунок 1 – преобразование типа autolevel (Adobe Photoshop CS 4), рисунок 2 – результат использования глобальной эквализации гистограммы, рисунок 3 – преобразование с использованием разработанного алгоритма.

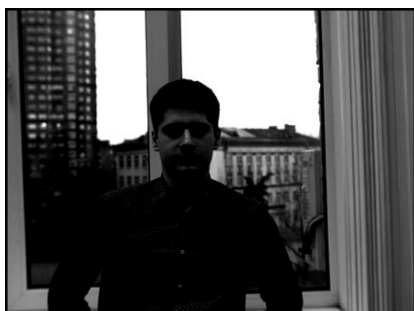


Рисунок 1

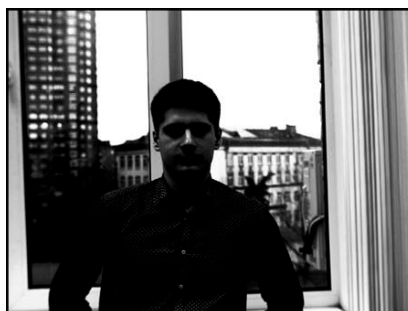


Рисунок 2



Рисунок 3

По результатам проделанной работы подготовлена заявка на патентование, после подачи которой предполагается представить описание метода на очередной научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления – 2013».

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

15. Создание ГРИД-сервисов хранения, обработки и визуализации данных ДЗЗ для мониторинга добычи углеводородов.

В рамках Соглашения о сотрудничестве между НОАА и РАН совместно с Национальным центром геофизических данных НОАА США в г. Болдер, штат Колорадо, были разработаны ГРИД-сервисы обработки в реальном времени, распределенного хранения и интерактивной визуализации данных ДЗЗ с американских спутников DMSP и NPP Suomi для мониторинга добычи углеводородов. Использование мультиспектральных данных с новейшего спутника NPP Suomi, полученных в ночное время, позволяет не только детектировать локальные инфракрасные источники на поверхности Земли, такие как факелы сжигания попутного газа, активные вулканы, пожары и плавильные печи, но и оценить их планковскую температуру и яркость. Это в свою очередь позволяет разделить источники ИК излучения по типу и провести регрессионный анализ зависимости их яркости от объемов сжигания попутного газа и, как следствие, добычи углеводородов.

Разработанные алгоритмы обработки данных с сенсора VIIRS спутника NPP Suomi были использованы при создании глобальной карты ночных огней Земли Black Marble, которая была представлена на пресс-конференции НОАА и НАСА 5 декабря 2012 г. на съезде Американского геофизического общества в Сан-Франциско. Предварительные результаты детектирования в реальном времени ИК источников на поверхности Земли были представлены на стендовом докладе на том же съезде: Mikhail Zhizhin, Chris Elvidge, Kim Baugh, Feng Chi Hsu, Real-time mapping of combustion sources using Suomi NPP satellite VIIRS and CrIMSS data: <http://fallmeeting.agu.org/2012/eposters/eposter/in33c-1553/>

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

Велись работы по контрактам с ОАО Недра (Ярославль) на создание роботизированной системы и программного обеспечения для многоспектрального высокоразрешающего фотодокументирование геологического керна, полученного со сверхглубоких и параметрических скважин на территории РФ, включая Кольскую.

В 2012 г. были установлены и апробированы в кернохранилище ОАО Недра роботизированные сканеры, позволяющие вести скоростную съемку каменного материала в виде пришлифованных эталонных образцов, полноразмерного распиленного и нераспиленного керна и проб шлама. Мультиспектральная съемка керна ведется одновременно в дальнем и ближнем УФ, видимом и ближнем ИК диапазонах спектра.

Разработаны методики панорамной фотосъемки и последующей потоковой обработки цифровых изображений для совместной визуализации и анализа изображений и данных геофизических исследований скважин.

Создано ПО «Виртуальное кернохранилище» для управления роботизированными стендами, потоковой обработкой данных, организации коллекции метаданных и мультиспектральных изображений каменного материала в виде многомасштабных пирамид и визуализации данных на многодисплейных видеостенах.

17. 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". В 2012 г. разработана технология непрерывного сбора низкочастотных и детектирования событий в высокочастотных временных рядах для мониторинга окружающей среды с помощью беспроводных сенсорных сетей, создан типовой набор сенсоров для разнопериодных наблюдений и разработаны алгоритмы и ПО детекторов для высокочастотных наблюдений, а также программные средства для преобразования, сохранения и визуализации данных с использованием облачных вычислений. Результаты работ были апробированы в геофизических приложениях для мониторинга геотермальных систем на Камчатке и для задач музейной климатологии.

По результатам исследований была подготовлена и принята в печать в «Российском журнале наук о Земле» статья: Пойда А.А., Жижин М.Н., Использование беспроводных сенсорных сетей для сбора данных об окружающей среде и детектирования событий.

Раздел 5.3 КОСМОС

1. Модернизация и развитие научной космической сети «КОСМОС»

За отчетный период были проведены работы по сопровождению и дальнейшему развитию ряда сегментов сети Института, а также каналов связи с организациями-партнерами.

Проведена модернизация оборудования центра сетевого управления и мониторинга с внедрением технологий автоматической миграции активных данных на твердотельные диски для повышения производительности критических программных подсистем.

Произведена доработка и внедрение модуля для управления индивидуальными сетевыми подключениями в составе системы управления и мониторинга сети «КОСМОС».

Проведены работы по организации логического подключения к ассоциации E-Арена в целях оптимизации доступа к научно-образовательным сетям GEANT2.

В рамках дальнейшего развития информационных каналов связи с организациями партнерами ИПМ РАН, АКЦ ФИАН и НПО им. С.А.Лавочкина была предложена и отработана схема автоматического резервирования выделенных каналов по публичным сетям с использованием технологий виртуальных частных сетей.

Произведен перевод критически нагруженных сегментов магистрали сети «КОСМОС» на технологию 10 Gigabit Ethernet.

А.Б. Александров, abba@cosmos.ru

Целевая Программа Президиума РАН П-14

Разработана и реализована архитектура предоставления услуг класса «инфраструктура как сервис» на базе платформы облачных вычислений OpenStack. В процессе реализации архитектуры исследована возможность использования высокоскоростной сети Infiniband с технологией прямого удаленного доступа к памяти. Исследована возможность интеграции внешних систем и сетей хранения данных корпоративного уровня в инфраструктуру вычислительного облака OpenStack. Исследована возможность работы адаптированной для OS Linux файловой системы ZFS совместно с программными компонентами OpenStack. Написан адаптер для интеграции хранилищ данных на базе ZFS на платформе Linux в инфраструктуру OpenStack.

Раздел 5.4 Вектор_УС

Отв. исп. д.т.н. Аванесов Г.А.

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

Навигационное сопровождение летательных аппаратов космического и авиационного применения традиционно основывается на данных измерений таких инерциальных средств, как гироскопы, акселерометры и т. д. При этом компенсация неизбежных дрейфов этих измерителей осуществляется посредством астрокорректоров – оптических звездных или солнечных датчиков.

Астрокорректоры космического применения прошли эволюцию от узкопольных приборов с системой наведения на одну или несколько наиболее ярких звезд на небесной сфере к широкопольным приборам, способным определять ориентацию по изображению любого участка звездного неба. Особенностью функционирования прибора астроориентации на борту летательного аппарата в околоземном пространстве является необходимость различать объекты при высоком уровне фоновой засветки, возникающей в условиях дневного освещения. Поэтому в составе традиционных астрокорректоров авиационного применения всегда использовался принцип наведения на наиболее яркие объекты небесной сферы.

Астровизирующее устройство (АВУ) авиационного применения, разработанное в отделе оптико-физических исследований ИКИ РАН, позволяет отказаться от системы наведения за счет оптимального подбора оптико-электронных компонентов и ряда алгоритмических решений. К основным функциональным элементам АВУ относятся:

- светозащитная конструкция – бленда, обеспечивающая функционирование прибора при углах Солнца к оптической оси прибора не менее 50°;
- светофильтр, обеспечивающий частичное подавление свечения атмосферы в синем диапазоне спектра;
- затвор, позволяющий получать изображение при коротких экспозициях (от 20 мс);
- ПЗС-матрица, обеспечивающая большое поле зрения прибора ($\approx 62^\circ$) при малом угловом размере элемента изображения (10 угл. сек);
- процессор, позволяющий обрабатывать большие объемы видеоинформации.

При использовании данного прибора задача определения ориентации в условиях высокой фоновой засветки решается за счет цифрового накопления видеоинформации: при усреднении серии изображений случайная фоновая составляющая, обусловленная собственными шумами матрицы, снижается пропорционально квадратному корню из числа усредняемых кадров (рисунки 1, 2). При этом сведение изображений, участвующих в усреднении, с точностью до одного пикселя обеспечивается за счет априорной информации, формируемой высокоточными датчиками бесплатформенной инерциальной навигационной системы – БИНС. Количество кадров, необходимых для сложения и последующего выделения объектов на фоне шума, не является постоянным, а автоматически рассчитывается, исходя из условий освещенности и яркости звезд, находящихся в поле зрения прибора.

Для увеличения частоты формирования параметров ориентации в обработке участвуют лишь те фрагменты изображения, которые содержат наиболее яркие звезды в поле зрения прибора. Координаты этих фрагментов также вычисляются на основе априорной информации, поступающей от БИНС. Размер фрагментов изменяется в зависимости от точностного режима работы БИНС. До момента осуществления первой астрокоррекции размер каждого фрагмента составляет 200x200 элементов изображения. Этот размер выбран, исходя из точностных характеристик БИНС при отсутствии компенсации дрейфов в течение часа после первоначальной выставки. После проведения первого сеанса астрокоррекции размер фрагментов автоматически снижается до 30x30 элементов, что положительно сказывается на помехозащищенности прибора и скорости обработки информации.

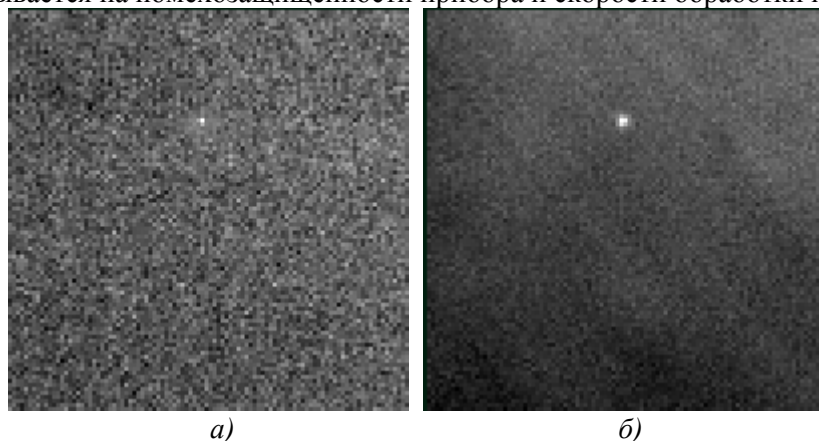


Рисунок 1 – Изображение звезды 1.9 F5 (уровень фона ~40000 град. АЦП):
а) на одиночном фрагменте; б) после усреднения 30 фрагментов

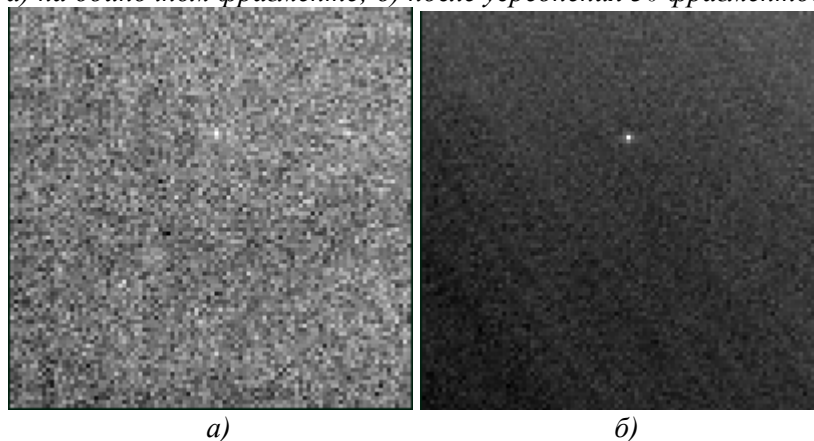


Рисунок 2 – Изображение звезды 3.1 A0 (уровень фона ~45000 град. АЦП):
а) на одиночном фрагменте; б) после усреднения 30 фрагментов

После усреднения требуемого числа фрагментов осуществляется вычисление энергетических центров объектов на результирующем изображении, вносятся поправки за дисторсию оптической системы и рефракцию атмосферы. Дальнейшие этапы обработки информации осуществляются по аналогии со звездными датчиками космического применения: распознавание звезд по бортовому каталогу и определение параметров ориентации.

К настоящему моменту изготовлен макетный образец АВУ, на котором проработаны методики калибровки параметров прибора и накоплен значительный материал по отработке прибора, как в лабораторных условиях, так и в процессе испытаний на реальном небе. Результаты проведенных испытаний подтвердили ожидаемые точностные характеристики прибора и успешное определение ориентации при требуемых уровнях фоновой засветки. В таблице 1 приведены значения с.к.о. углов ориентации при съемке с поверхности Земли (скорость вращения 15 угл.сек/с). Съемка проводилась в условиях освещенности, эквивалентных предельным требованиям технического задания.

Таблица 1 – Точность определения параметров ориентации

	Точность определения углов ориентации при усреднении, угл.сек				
	Ночная съемка			Утренняя съемка	
Количество усредняемых кадров	1	30	100	30	100
Склонение	1.1	1.4	1.3	2.0	2.0
Азимут	4.0	9.6	9.4	12.0	9.0

В следующей модификации АВУ дополнено солнечным датчиком (СД). В таком варианте прибор способен определять параметры ориентации при любых углах Солнца к оптической оси прибора. В настоящее время изготовлен макетный образец СД, на котором проработаны методики его калибровки и произведена отработка программно-математического обеспечения.

Отв. исп. к.т.н. Бессонов Р.В.

2. Оценка возможностей использования цифровых карт профиля поверхности в монокулярных системах технического зрения оптического и ИК-диапазонов для решения задач навигации и ориентации летательных аппаратов (отчет по проекту РФФИ 12-08-00863-а)

Задача создания автономных систем навигации высокой точности становится все более и более актуальной. В настоящее время широко используются системы спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС. В Европе разрабатывается спутниковая навигационная система Galileo, а в Китае – “Бэйдоу”. Указанные системы обладают принципиальным недостатком – высокой степенью уязвимости как к маскирующим, так и к имитирующим помехам. Практика последних 10 лет это наглядно продемонстрировала. Особенно впечатляющие успехи достигнуты в создании имитирующих помех, позволяющих вводить ошибки измерений, изменяющиеся по заданному закону и приводить аппарат, использующий GPS, в точку пространства, заданную при синтезе помех. Поэтому использование подобных систем в ответственных задачах является абсолютно недопустимым. Собственно, указанные факты уязвимости спутниковых навигационных систем были абсолютно очевидны для любого мало-мальски грамотного специалиста по радиоэлектронному подавлению еще 30 лет тому назад. Поэтому в 2012 году Агентство перспективных оборонных исследований DARPA объявило конкурс на создание комплексных систем навигации, способных функционировать как при наличии GPS, так и при ее подавлении:

<http://www.militaryaerospace.com/articles/2012/06/darpa-pushes-forward-with-navigation-sensor-fusion-initiative-to-reduce-dependence-on-gps.html>,

Документ DARPA: <https://www.fbo.gov/utlils/view?id=c88258b29bab39df4bb066246c9f8e54>)

Повышение устойчивости навигации к помехам может быть достигнуто только на пути развития автономных систем навигации, которые могут функционировать на различных принципах, в том числе и с использованием оптических датчиков. Классическим способом навигации является определение своего местоположения по изображению звездного неба, точным часам и местной вертикали.

По этому пути идет, в частности, Optical Physics Company, Калифорния, США. (<http://opci.com/ocns.htm>). Указанная фирма разрабатывает комплексную систему навигации (Optical Celestial Navigation System), включающую в свой состав точные часы, звездные датчики и датчик горизонта. Следует отметить, что Китай, несмотря на разработку спутниковой навигационной системы “Бэйдоу”, активно развивает альтернативные методы навигации, в том числе по оптическим изображениям.

Вторым направлением является использование корреляционно-экстремальных навигационных систем по видимой форме горизонта. Поскольку информация о профиле поверхности имеется как для Земли, так и для Марса, а также Луны, то указанные методы навигации вполне применимы и для указанных тел Солнечной системы. Более того, реализация таких систем существенно упрощается для Марса, обладающего весьма слабой атмосферой, и тем более для Луны, у которой атмосфера отсутствует.

В рамках указанного направления развития автономных систем оптической навигации в 2012 году были решены следующие задачи:

1. Получены оценки влияния ошибок цифровых карт профиля поверхности на точность измерения координат аппарата (**без учета влияния всех других источников ошибок**). В частности, для высоты полета 10 км графики приведены на рис.1. По горизонтальной оси графиков отложена средняя квадратическая ошибка высоты цифровой карты профиля поверхности в метрах. Угловые ошибки определения положения аппарата указаны в угловых секундах, линейные ошибки – в метрах.

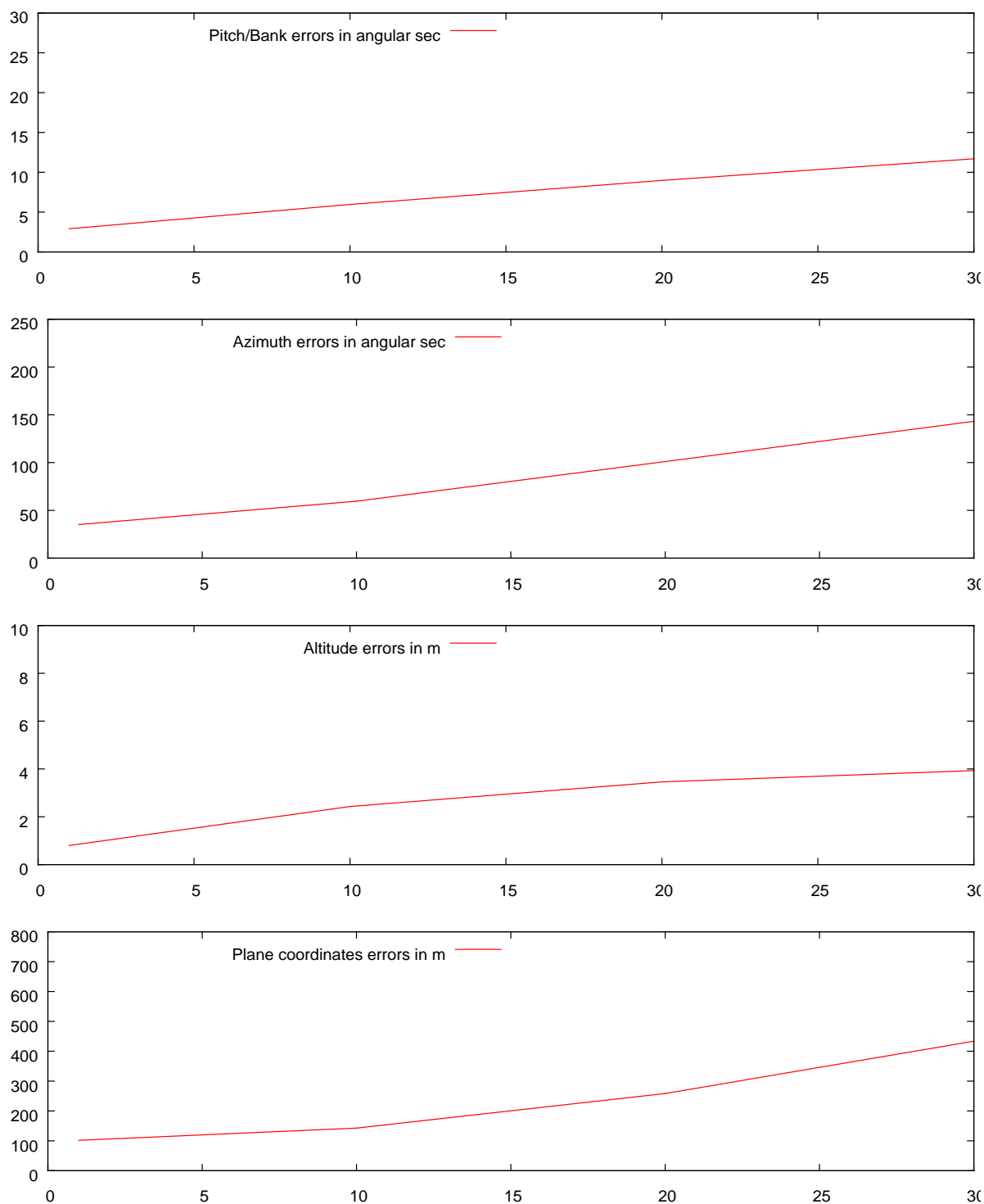


Рис. 1. Точность измерения координат летательного аппарата в зависимости от среднего квадратического отклонения ошибок цифровой карты профиля поверхности.

Таким образом, при использовании карт с ошибкой высоты порядка 10 м, может быть получена точность измерения местной вертикали порядка профиля 5 угловых секунд, а точность измерения плановых координат – порядка 150 м (без учета влияния остальных источников ошибок).

Оценивалось также взаимное влияние между измерительными каналами, а именно, влияние условий измерения (текущего крена и тангажа) на результаты измерения всех параметров. Расчет был сделан для высоты полета – 10 км для углов прокачки до 5 градусов, а также при совместном действии разворотов по всем трем углам на 2,5 градуса. При этом дополнительные ошибки измерения высоты не превышали 5 м, плановых координат – не более 15 м, ошибки измерения тангажа и крена 10-50 угл. сек., азимута – не более 100 угл. сек.

2. Для оптических систем, предназначенных для работы на очень больших расстояниях (расстояние до линии горизонта при полете на высоте 10 км составляет порядка 357 км) критически важными являются вопросы аэрозольного рассеивания, а также молекулярного поглощения излучения. Для определения наиболее подходящих диапазонов наблюдения линии горизонта рассчитывался контраст линии горизонта для 36 значений азимута (с шагом 10 градусов) и 24 значений времени суток (с шагом 1 час) для различных условий наблюдения (высота, альbedo поверхности, время года) в диапазоне 0,35 - 14,08 мкм. Результаты одного из таких циклов расчетов представлены на рис. 2. На графиках представлены зависимости в интервале 0,35 – 6 мкм, поскольку вне этого интервала контраст линии горизонта менее 2%. По горизонтальной оси графиков отложена длина волны в мкм. По вертикальной оси отложена суммарная длительность времени в часах, в течение которого не менее 80% длины линии горизонта наблюдается с величиной контраста, превышающего пороговое значение. В качестве пороговых значений заданы величины контраста, равные 2%, 5% и 10%. Все расчеты сделаны для случая, когда **отсутствуют туман, облака и дождь**, поскольку они делают невозможным наблюдение линии горизонта.

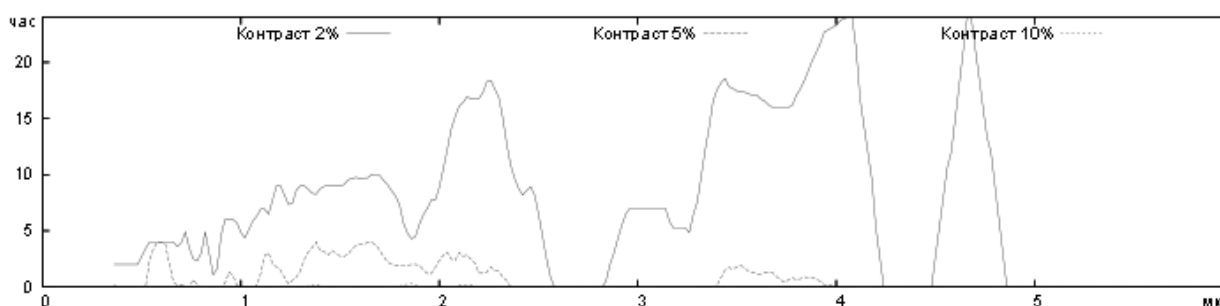


Рис. 2. Суммарная продолжительность наблюдения линии горизонта в течение суток с величиной контраста не менее 2%, 5% и 10%.

Анализ графика позволяет заключить, что наиболее благоприятными диапазонами для наблюдения линии горизонта являются стандартные астрономические полосы К, L и М (центры этих полос соответствуют длинам волн 2,2 3,6 и 4.6 мкм). При этом в диапазоне К имеет место минимальное ослабление оптического излучения (см. рис. 3), а в диапазонах L и М - возможность всесуточного наблюдения линии горизонта. Причем уровни сигналов для этих полос мало различаются для разного времени суток (день/ночь). Предварительные расчеты показали, что современные матрицы для диапазонов L и М обеспечивают хорошее отношение сигнал/шум при визуировании линии горизонта даже при частоте считывания в несколько десятков кадров в секунду.

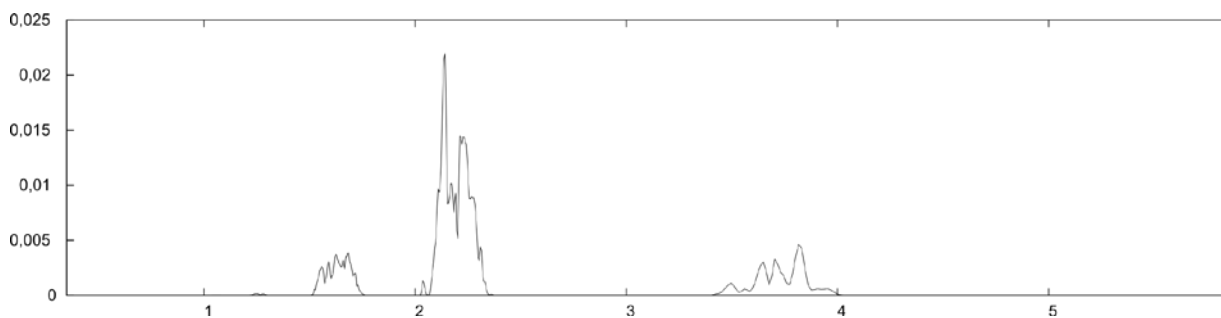


Рис. 3. График затухания оптической трассы наблюдения линии горизонта для высоты 300 км (наиболее тяжелый случай).

3. Для оптических трасс в атмосфере, имеющих очень большую длину большое значение имеет атмосферная рефракция. Поскольку на различных высотах атмосферное давление имеет разную величину, различается также температура и влажность, то изменяется и коэффициент преломления, что вызывает отклонение лучей от прямой линии. Были произведены расчеты рефракции для стандартной атмосферы (СА81). При этом итерационно решалась краевая задача для нелинейных дифференциальных уравнений. Самое существенное, это то, что рефракция лучей в атмосфере

вызывает существенное смещение точек по поверхности Земли, которые участвуют в формировании изображения линии горизонта. На рис. 4. представлен график сдвига точки касания луча в угловых минутах в зависимости от высоты аппарата над поверхностью Земли в км. Сдвиг на 10 угловых минут соответствует перемещению точки по поверхности Земли приблизительно на 18,53 км. Это необходимо обязательно учитывать при синтезе эталонных изображений.

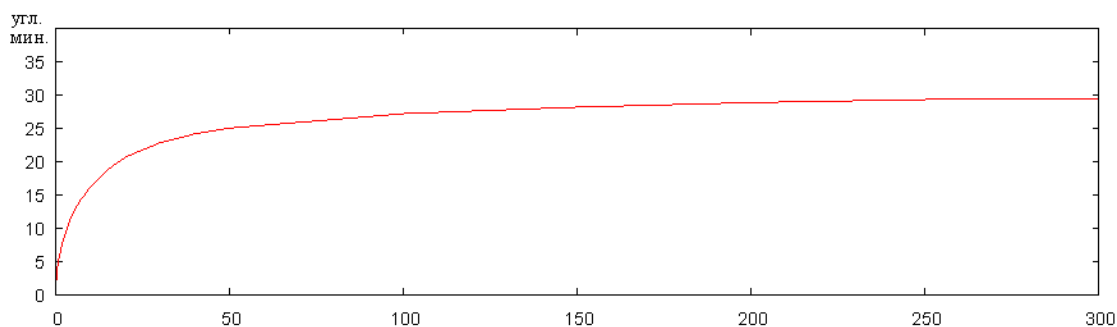


Рис. 4. Сдвиг точки горизонта поверхности Земли, обусловленный рефракцией в атмосфере для разных значений высот.

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