

Тема Вектор-УС «Исследования, разработки и моделирование аппаратно-программных решений задачи высокоточных астроопределений, проводимых для управления ориентацией космических объектов»

Гос.рег. № 01.20.0307396

Научный руководитель темы д.т.н. Г.А. Аванесов

Разработка предложений и натурное моделирование комплексирования в одном приборе звездного координатора и датчиков угловой скорости.

Отв. исп. к.т.н. Бессонов Р.В.

Проведены испытания прибора БОКЗ-МФ на стенде динамических испытаний и на реальном звездном небе со следующими результатами:

- с увеличением угловой скорости точность определения ориентации ухудшается;
- предельная скорость работы прибора (при отсутствии ускорения) составляет около 2 °/с;
- с увеличением углового ускорения предельная угловая скорость работы прибора уменьшается.

В настоящее время идет разработка интегрированного прибора ориентации БОКЗ-М30/500. Прибор представляет собой звездный координатор серии БОКЗ-МФ со встроенными микромеханическими датчиками угловой скорости CRG20. На данном этапе изготовлен узел датчиков угловой скорости прибора БОКЗ-М30/500 (рис. 1). Проведены испытания на стойкость к ионизирующему излучению с положительными результатами. Определены зависимости основных параметров датчиков CRG20 (смещение нуля, масштабный коэффициент) от величины температуры, напряжения и абсолютной величины угловой скорости.

В программно-алгоритмическом обеспечении прибора используется калибровка смещения нуля по оптическим измерениям и компенсация смещения нуля по температуре (термокомпенсация). Кроме того, введена зависимость масштабного коэффициента от абсолютной величины угловой скорости (нелинейность масштабного коэффициента).

Для отработки программно-алгоритмического прибора БОКЗ-М30/500 были промоделированы измерения датчиков угловой скорости и звездного датчика в режиме орбитального полета и в режиме переориентации космического аппарата. При моделировании были использованы реальные шумы датчиков угловой скорости. Шум звездного датчика был промоделирован с учетом его роста при увеличении угловой скорости. В процессе отработки алгоритма на сгенерированных данных было показано, что при больших угловых скоростях (от 1 до 2 °/с) точность определения ориентации и угловой скорости вокруг оптической оси по оптическим измерениям хуже, чем по измерениям датчиков угловой скорости (рис. 2). Для повышения точности определения параметров ориентации были введены веса измерений по оптической оси: при малых угловых скоростях оптические измерения и измерения датчиков угловой скорости используются с равными весами, с увеличением угловой скорости веса оптических измерений уменьшаются. Результаты работы алгоритма с введением весов представлены на рис. 3.

Использование датчиков угловой скорости в составе звездного датчика позволяет расширить диапазон рабочих ускорений и угловых скоростей, а также повысить точность определения ориентации при высоких угловых скоростях.

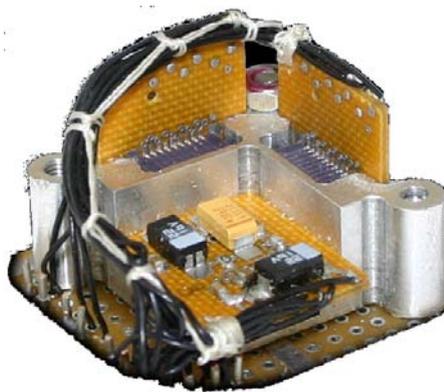


Рис.1. Блок датчиков угловой скорости прибора БОКЗ-МФ-01

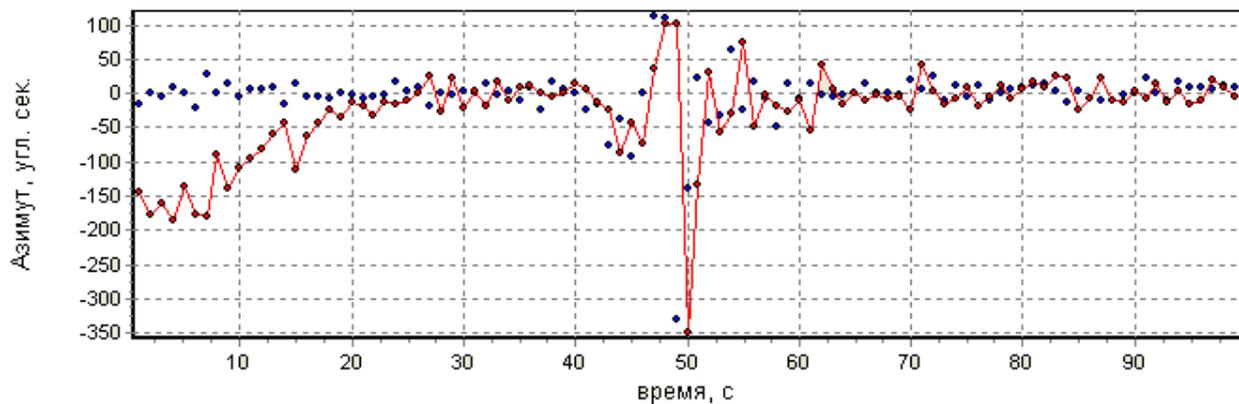


Рис. 2. Погрешность определения углового положения по оптическим измерениям и измерения датчиков угловой скорости (до введения весов измерений по оси OZ)

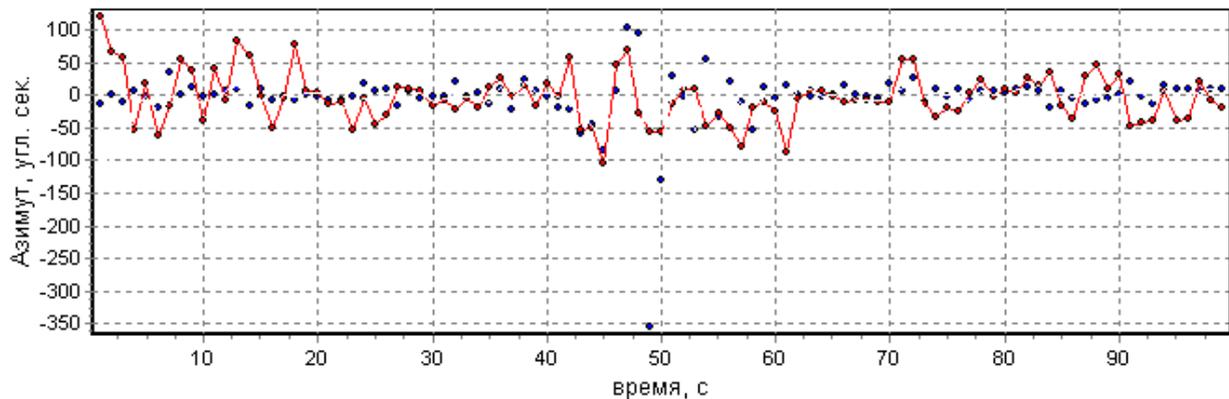


Рис. 3. Погрешность определения углового положения по оптическим измерениям и измерения датчиков угловой скорости (после введения весов измерений по оси OZ)

Публикации по теме:

1. Г.А. Аванесов, Р.В. Бессонов, С.А. Дятлов. Интегрированные приборы определения параметров движения космического аппарата. Вторая Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 13-16 сентября 2010. Тезисы. ИКИ, 2010.
2. Г.А. Аванесов, В.Ю. Дементьев, Е.А. Мыслик. Результаты проведения лабораторных испытаний датчика звездной ориентации БОКЗ-МФ на динамическом стенде. Интегрированные приборы определения параметров движения космического аппарата. Вторая Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 13-16 сентября 2010. Тезисы. ИКИ, 2010.

3. 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». Таруса, 13-16 сентября 2010. Тезисы. ИКИ, 2010.

Разработка программно-алгоритмического обеспечения для высокоточных астроопределений ориентации КА.

Отв. исп. к.т.н. Никитин А.В.

Разработано программно-алгоритмическое обеспечение для контрольно-испытательной аппаратуры БОКЗ-М, позволяющее путем обработки информации об ориентации с трех приборов БОКЗ-М определять угловые параметры ориентации.

Проведен эксперимент по синхронному функционированию приборов звездной ориентации БОКЗ-М в наземных условиях по ночному звездному небу. Определение ориентации выполнялось тремя приборами, углы между осями которых составляли 10 градусов (рис. 1) со скоростью проведения измерений.

По результатам эксперимента определена зависимость между точностью определения азимутального угла астроизмерительной системы звездных приборов и углом между осями приборов (рис. 2).

Выпущен отчет, описывающий ход проведения эксперимента и достигнутые результаты обработки высокоточной ориентации.

Сделан вывод о том, что для достижения высокой точности астроопределений необходимо иметь, как минимум, два одновременно работающих прибора звездной ориентации. Оси Z приборов должны располагаться под углом от 60 до 90 градусов. При этом среднеквадратическая ошибка определения угла вращения вокруг оси Z составит от 4 до 2 угловых секунд. Тогда как среднеквадратические ошибки определения углов вращения вокруг осей X, Y составят 2 угловые секунды.

В перспективе предполагается разработка ПАО для использования изображений с трех приборов при определении параметров угловых параметров ориентации обобщенной системы координат.

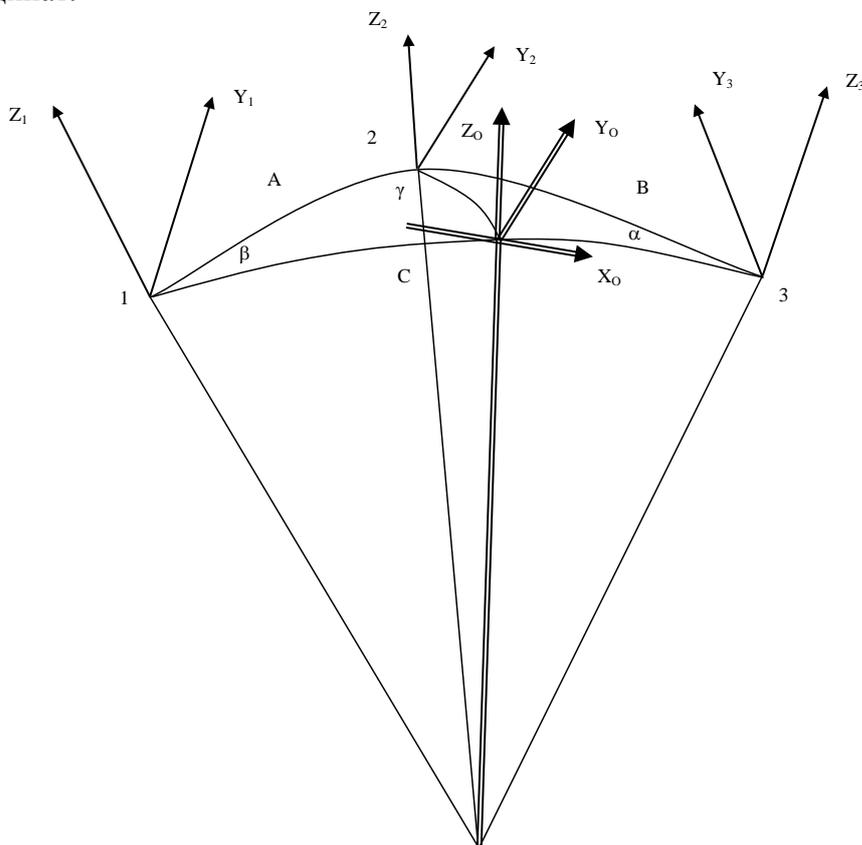


Рис.1. Системы координат используемые при проведении эксперимента

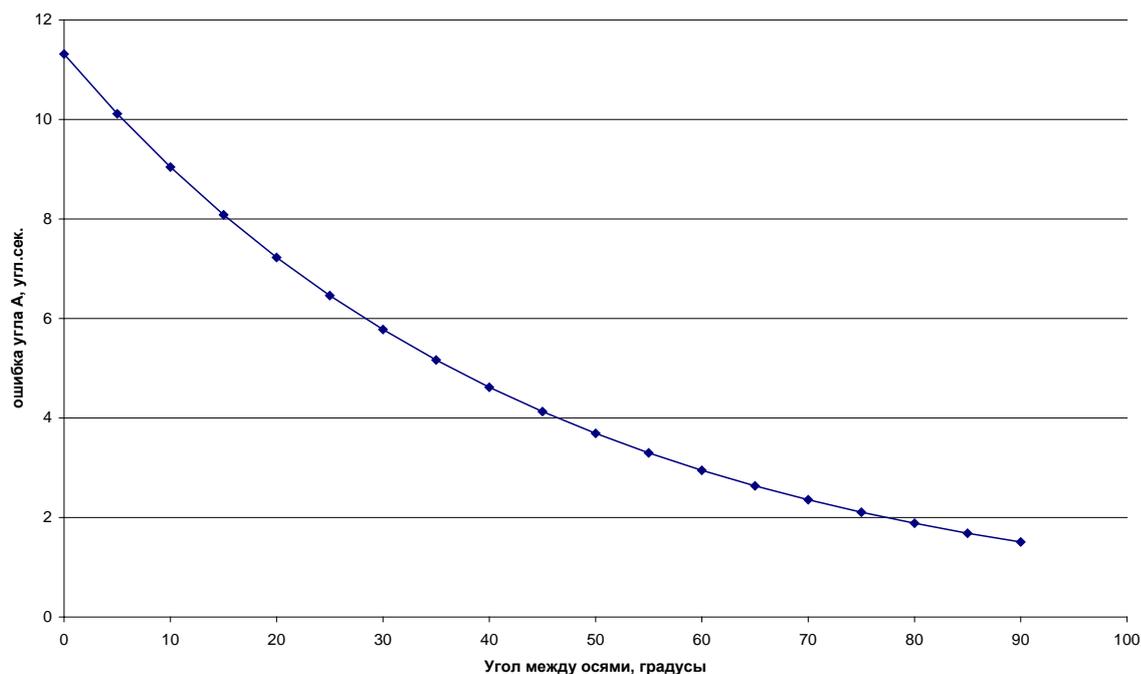


Рис.2. Зависимость точности определения угла A от углового расстояния между осями Z приборов

Публикации по теме:

1. Г.А. Аванесов, В.А. Красиков, А.В. Никитин, В.В. Сазонов Оценка точности определения параметров ориентации осей систем координат астроизмерительных приборов семейства БОКЗ-М. РАН ИПМ им. Келдыша Препринт №70 за 2009 г.
2. Б. С. Дунаев, В. А. Красиков, А. В. Никитин Наземный эксперимент по синхронному определению параметров угловой инерциальной ориентации тремя приборами БОКЗ-М. Вторая Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов», ИКИ РАН, Таруса 13-16 сентября 2010 г. Тезисы докладов
3. С. В. Воронков, Б. С. Дунаев, А. В. Никитин, В. А. Шамис Средства наземной отладки астроприборов в составе комплексных стендов. Вторая Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов», ИКИ РАН, Таруса 13-16 сентября 2010 г. Тезисы докладов

Тема ВСКИ «Исследование проблемы прецизионного координатно-временного обеспечения (ККВО) видеоспектрометрических космических исследований Земли и других небесных тел, реализуемого по данным бортовых навигационных измерений. Разработка и моделирование аппаратно-программных решений задачи КВО».

Гос.рег. № 0120.0 602989

Научный руководитель темы к.ф.-м.н. А.А. Форш

1. Разработка технических предложений по координатно-временному обеспечению полетов ИСЗ и координатной привязки проводимых с них съемок и измерений

В течение отчетного периода проводились экспериментальные работы по настройке и практической отработке опытной системы координатно-временного обеспечения (КВО), установленной на космическом аппарате «Метеор-М» №1. Ниже приводится перечень выполненных работ, результаты которых представлены в научно-техническом отчете и нескольких публикациях.

А) Отработка решений по КВО на борту КА.

- Уточнение, по результатам натуральных съемок звездного неба и показаниям гироскопического измерителя вектора угловой скорости, матрицы перехода между приборной СК БОКЗ и связанной системы координат КА;
- Расчет, по результатам натуральных съемок звездного неба, закона изменения ориентации космического аппарата на витке и сравнение полученных результатов с ориентацией, вычисленной по показаниям ГИВУС в инерциальной и орбитальной системах координат;
- Определение, по результатам измерения ориентации и местоположения КА и натуральных съемок поверхности Земли, расхождения опорных шкал времени бортового стандарта времени и частоты и сетки времени UTC (GPS);
- Проведена оценка точности показаний прибора БОКЗ-М по экспериментальным данным, выпущен научно-технический отчет;
- Выработка технических предложений по построению системы координатно-временного обеспечения для КА серии «Метеор-М» дальнейших выпусков, разработка технического задания на систему БСКВУ для КА «Метеор-М» №2;

Б) Работы по обеспечению географической привязки полученных изображений:

- Уточнение, по результатам натуральных съемок поверхности Земли, геометрической модели и параметров внутреннего ориентирования датчиков изображения приборов МСУ;
- Определение, по результатам синхронных натуральных съемок поверхности Земли и звездного неба, матриц перехода между приборными системами координат многозональных съемочных устройств и прибора звездной ориентации;
- Отработка алгоритмов и программного обеспечения автоматизированного синтеза многозональных изображений и привязки их к географической сетке координат с заданной точностью.

Получены следующие результаты.

По результатам экспериментальной записи параметров ориентации КА на витках 3152, 3153 и 3154 рассчитаны параметры ориентации и проведен сравнительный анализ данных. Поправка к измерениям матриц перехода между ПСК БОКЗ и ССК КА составили значения $0.559 \pm 0.034^\circ$, $0.286 \pm 0.050^\circ$ и $0.045 \pm 0.028^\circ$.

Методика оценки точности основывалась на аппроксимации показаний БОКЗа с помощью модели вращательного движения спутника. Доверяя этой модели, ошибки аппроксимации

можно связать с ошибками измерений БОКЗа. Используемая модель движения основана на уравнениях кинематики твердого тела и данных измерений угловой скорости спутника, выполненных тремя ГИВУСами. При построении аппроксимации измерений БОКЗа осуществлялась и проверка измерений ГИВУСов.

Результат сравнительного анализа измерения углов ориентации и угловых скоростей по показаниям БОКЗ и ГИВУС приведен на рисунке 1.

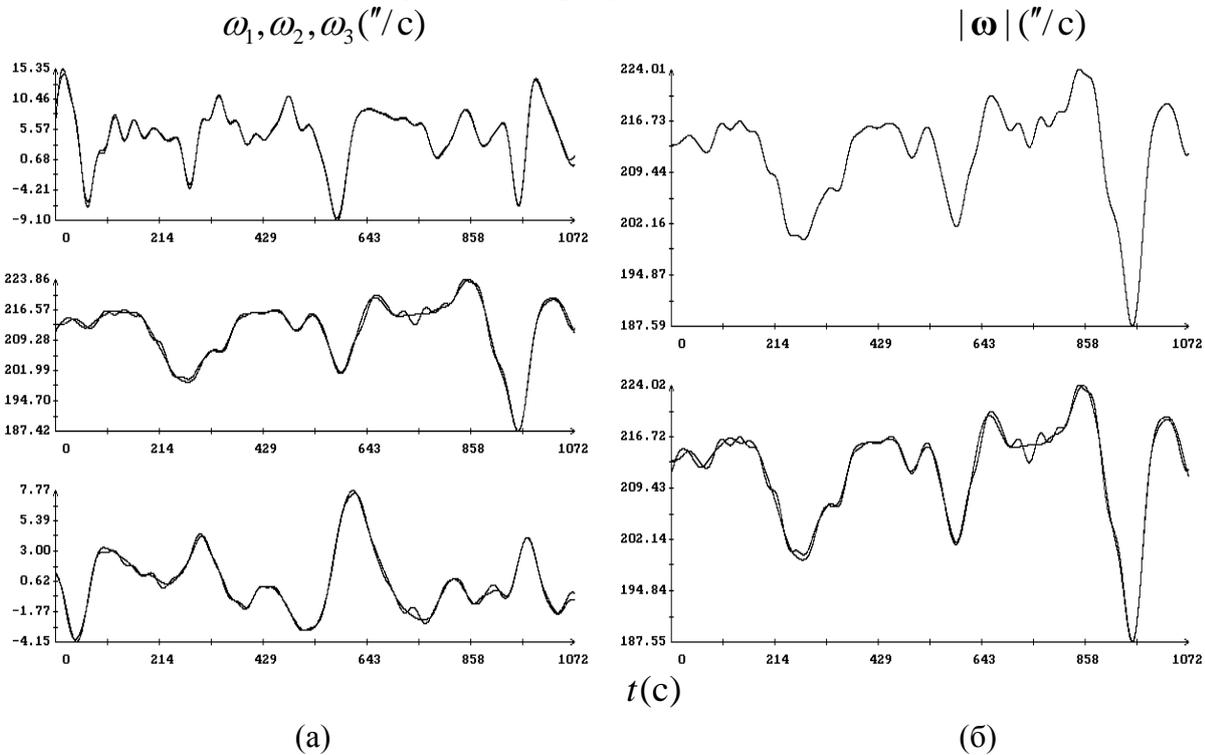


Рис.1 Угловые скорости (файл 3152),

момент $t = 0$ соответствует 13:22:04 ДМВ 27.04.2010;

(а) расчет по кватерниону и сглаживание измерений при $NF = 60$,

(б) модуль угловой скорости: сверху расчет по кватерниону, внизу расчет по кватерниону и сглаживание измерений.

Получение искомых оценок точности в качестве побочного результата позволило реконструировать фактического вращательное движение спутника относительно инерциальной системы координат. На борту «Метеора-М» имеется аппаратура спутниковой навигации, которая выдает измерения положения и скорости аппарата относительно гринвичской системы координат. Эти измерения вместе с реконструкцией абсолютного вращательного движения позволили найти движение спутника относительно орбитальной системы координат, т.е. оценить качество реализации его рабочего движения.

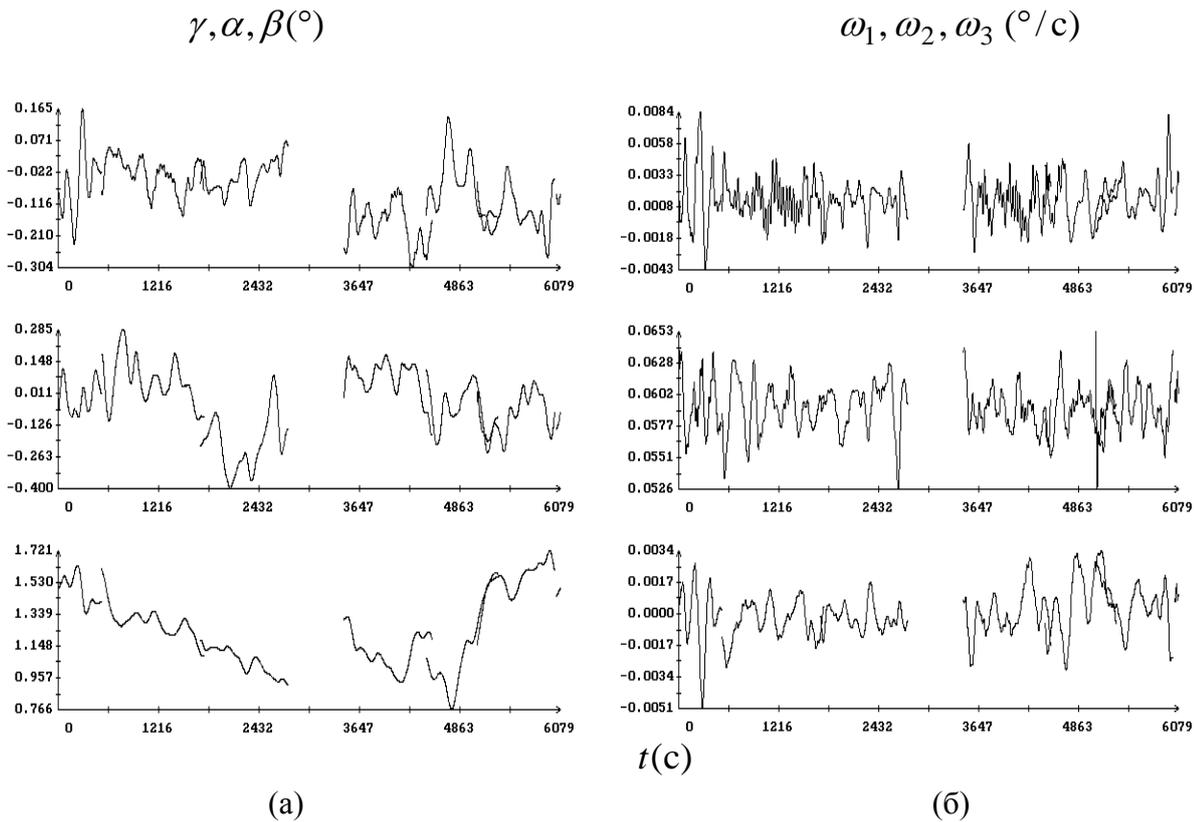


Рис. 2. Движение спутника на виртуальном витке;
 (а) углы ориентации: γ – крен, α – тангаж, β – рысканье;
 (б) компоненты угловой скорости в строительной системе координат.

Проведенное исследование показало, что среднеквадратичные ошибки показаний прибора БОКЗ-М, полученных в условиях космического полета на спутнике «Метеор-М», составляют около 3" по углу поворота датчика вокруг приборной оси OX , примерно 7" вокруг оси OY и около 15...20" по углу его поворота вокруг оси OZ .

Амплитудные значения погрешностей ориентации КА в орбитальной системе координат составляют не более 0,4 по осям X и Y (углы крена и тангажа) и не более 0,5 по оси Z (угол рыскания). Среднее значение для углов крена и тангажа КА находится около нуля, а для угла рыскания составляет примерно 1,2°.

Следует отметить, что в данные ошибки вносит свой вклад дрожание корпуса КА, вызванное вращением зеркала прибора МТВЗА. Амплитуды колебаний спутника вокруг осей строительной системы координат, вызываемых таким вращением, составляют 1 – 2". За вычетом этих дополнительных погрешностей полученные результаты хорошо согласуются с оценками точности астроизмерительных приборов семейства БОКЗ, приведенными в [1].

Полетная калибровка приборов МСУ проводилась с целью обеспечения требуемой точности синтеза многозональных изображений и привязки к географической сетке координат.

При обработке полетных данных были реализованы следующие методические этапы:

- Формирование навигационной информации для каждой строки сканерного изображения.
- Измерение сканерного изображения с целью получения таблицы соответствия между координатами точек на снимке (строка и столбец) и точками картографической основы (долгота, широта высота).
- Составление системы уравнений связи координат точек на сканерном изображении с точками на карте с использованием навигационной информации.

- Решение системы уравнений относительно 3-х углов поворота вокруг осей координат, определяющих ее параметры по способу наименьших квадратов методом последовательных приближений.
- Рассчитанные параметры модели определяются для всех 3-х каналов и используются при формировании файлов геометрической калибровки камеры.

Полученные в результате уточнения геометрической модели погрешности приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Прибор	Точность географической привязки данных		Точность сведения спектральных каналов	
	Среднее значение ошибки, км (пиксел)	СКО, км (пиксел)	Среднее значение ошибки, км (пиксел)	СКО, км (пиксел)
МСУ -101	0,5 (10)	0.05 (0.7)	0.02 (0.35)	0.015 (0.26)
МСУ -102	0,6 (12)	0.06 (0.86)	0.038 (0.65)	0.01 (0.2)
МСУ -50	1.15 (11)	0.2 (3.27)	0.08 (0.7)	0.04 (0.34)

Анализ функционирования опытной системы КВО на борту КА «Метеор-М» №1 позволил определить несколько технических решений, которые позволят обеспечить достаточно высокую точность сведения и геопривязки целевой информации.

Для повышения точности координатной привязки данных МСУ предлагается использовать в составе КА два прибора звездной ориентации образующих угол 90 градусов между осями Z. Такое размещение позволит определять трехосную ориентацию осей ССК КА в гринвической СК с точностью до 2 угловых секунд и обеспечит относительную точность сведения каналов до 8 м.

Систематическая составляющая погрешности географической привязки определяется, в основном, расхождением бортовых шкал времени. Переход на единую бортовую шкалу времени UTC позволит исключить этот вид ошибки.

Случайная составляющая погрешности географической привязки может быть обусловлена неточностью определения тангажного угла ориентации КА, которая определяется низкой точностью измерения прибором БОКЗ угла разворота вокруг оптической оси. Опять таки, для устранения этой составляющей погрешности, предлагается использовать в составе КА два прибора звездной ориентации образующих угол 90 градусов между осями Z.

Публикации по теме:

1. Аванесов Г.А., Красиков В.А., Никитин А.В., Сазонов В.В. Оценка точности определения параметров ориентации осей системы координат астроизмерительных приборов семейства БОКЗ. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2009, № 70.
2. Новикова Н. Н., Бекренёв О.В., Емельянов К.С., Пермитина Л. И., Федоркова Ю.В., Жуков Б.С., Полянский И.В. Данные КМСС КА «Метеор-М» №1 для обеспечения ведомственных систем мониторинга окружающей среды и выполнения региональных проектов. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». 1-3 июня 2010 г.
3. Аванесов Г.А., Жуков Б.С., Полянский И.В., Бекренёв О. В., Пермитина Л.И. «Опытная эксплуатация КМСС на КА «Метеор-М» №1 и практическое использование данных для обеспечения мониторинга окружающей среды». Конференция Современные проблемы ориентации и навигации КА. Таруса. 2010
4. Оценка точности определения параметров ориентации осей системы координат астроизмерительного прибора БОКЗ-М по экспериментальным данным. Научно-технический отчет. ИКИ РАН, 2010

2. Разработка ПАО для прецизионной координатной привязки видеоспектрометрических снимков

Данные со звездного датчика БОКЗ-М и системы спутниковой навигации АСН-М-М КА Метеор-М поступают на наземные пункты приема вместе с видеоспектрометрической информацией камер МСУ. Частота следования строк МСУ составляет 156,25 Гц. Интервал между строками 6.4 мс. Частота обновления информации об ориентации ПСК БОКЗ-М составляет 0.33 Гц. Интервал измерений 3с. Частота обновления информации о положении КА на орбите 1 Гц. Интервал между измерениями 1с. Таким образом, для привязки данных необходимо решить следующие задачи:

1. Получить информацию о пространственном и угловом положении КА при формировании строки изображения в гринвичской системе координат АСН (WGS-84)
2. Определение матрицы перехода от номинального положения камеры МСУ относительно ССК КА к ВСК каналов МСУ.
3. Определение матрицы перехода от номинального положения камеры МСУ относительно ССК КА к ВСК каналов МСУ.

Для решения первых двух задач разработано ПАО формирования навигационного файла. Навигационный файл формируется для каждой строки изображения, при этом в качестве исходных данных используется файл ККВО, содержащий данные приборов ориентации и системы спутниковой навигации. Он содержит координаты КА в гринвичской СК WGS-84 и матрицу перехода от ССК к ГСК. Файл RSM, содержащий время получения первой строки изображения.

Для решения третьей задачи разработано ПАО полетной калибровки.

Исходными данными для ее решения являются:

- Номинальная матрица установки прибора БОКЗ-М в ССК КА.
- Номинальная матрица установки прибора МСУ в ССК КА
- Исходный файл геометрической калибровки, содержащий направляющие косинусы элементов ПЗС-линейки в ПСК МСУ.
- Навигационный файл.
- Три файла с координатами точек на снимке в каждом из трех каналов и соответствующие им долгота и широта на карте.

Программа уточняет параметры перехода от координат точки на сканерном изображении к координатам точки на поверхности Земли.

Результатом работы программы является уточненный файл геометрической калибровки.

Параметрами перехода являются: фокусное расстояние, углы ориентации, определяющие переход от номинального положения СК МСУ к реальному положению, коэффициенты дисторсии.

Разработанное программное обеспечение включено в систему оперативной обработки информации в НЦ ОМЗ.

Пример мозаики, составленной из обработанных изображений с камер МСУ-100 приведен на рис. 1.

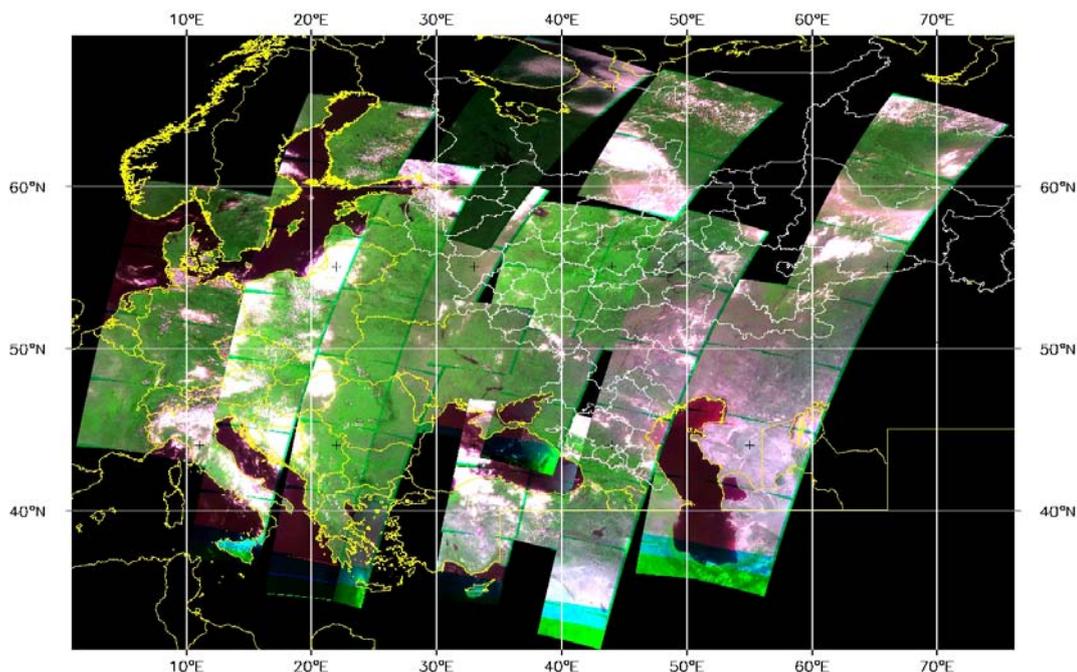


Рис.1. Мозаика синтезированных изображений МСУ-101,102

Публикации по теме:

1. Т. В. Кондратьева, А. В. Никитин, И. В. Полянский, Б. С. Дунаев. Определение геометрических параметров приборов МСУ-100 и МСУ-50 на лабораторном стенде и в условиях полета космического аппарата. /Конференция Современные проблемы ориентации и навигации КА. Таруса. 2010
2. Т.В. Кондратьева, А.В. Никитин, И.В. Полянский Определение геометрических параметров приборов МСУ-100, МСУ-50 КА «Метеор-М». Материалы 7-й всероссийской конференции ДЗЗ из космоса Москва ООО «ДоМира» 2010.
3. Никитин А.В., Дунаев Б.С., Кондратьева Т.В., Полянский И.В. Полетная и наземная геометрическая калибровка многозональных сканирующих устройств МСУ-100 и МСУ-50 Тезисы ноябрьской конференции 2010г. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН
4. Р.Н. Гельман, А.В. Никитин Аналитическая обработка снимков при наземной цифровой стереофото съемке Препринт ИКИ РАН.

Разработка алгоритмов обработки изображений для решения задач управления посадкой летательных аппаратов

Отв. исп. к.т.н. Гришин В.А. отд. 71

1. Работа по проекту “Фобос-грунт”.

1.1. Дальнейший анализ влияния динамики космического аппарата на характеристики алгоритмов обработки изображений ТСНН при посадке на Фобос

Динамика КА, а именно его угловое и линейное движение, вызывает соответствующее перемещение объектов и поверхностей, находящихся в поле зрения камер. Поэтому она оказывает непосредственное влияние на измеряемые параметры. Кроме того, работа алгоритмов оценивания, фильтрации, прогноза, обнаружения сбоев слежения, переключения в режим поиска, обнаружения и захвата существенно учитывает законы распределения измеряемых случайных величин. А они также зависят от динамики КА.

Анализ влияния динамика КА производился, в основном, по новой баллистической информации, полученной от ИПМ им. М. В. Келдыша. Проведено сравнение с результатами моделирования, выполненными на основе баллистической информации о сценарии посадки НПО им. С. А. Лавочкина. Для определения пространственных координат точек поверхности использована модель Фобоса Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского (ГЕОХИ).

На графике (рис. 1) показаны зависимости расстояния (высоты) до поверхности от времени, а также две оценки расстояния, полученные в каналах низкого и высокого разрешения. Заметен ступенчатый характер оценок, который обусловлен дискретным характером измеряемой диспаратности. На графике (рис. 2) показаны измеряемые компоненты вектора перемещения визируемой точки в поле зрения монокулярного канала измерений.

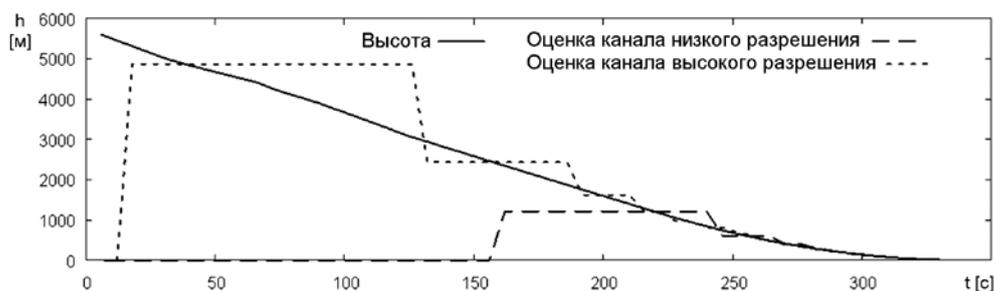


Рис. 1. Расстояние до поверхности Фобоса и ее оценки.

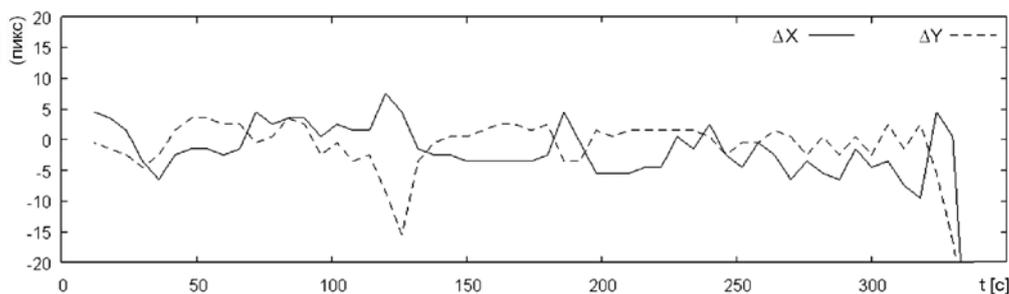


Рис. 2. Изменение компонент векторов перемещения точки в поле зрения монокулярного канала измерений (канал низкого разрешения).

Моделирование показало работоспособность алгоритмов слежения и прогноза при посадке по сценариям НПО им. С. А. Лавочкина и ИПМ им. М. В. Келдыша. Анализ результатов моделирования позволил оптимизировать параметры этих алгоритмов.

1.2. Верификация результатов процесса установления соответствия при посадке на Фобос

При решении задач информационной поддержки процесса посадки используются алгоритмы установления соответствия между изображениями одних и тех же точек наблюдаемой поверхности на стереопарах или на последовательности изображений. Точность и надежность процесса установления соответствия определяют точность измерения параметров, необходимых для процесса управления посадкой. Исследованы алгоритмы верификации процессов установления соответствия, разработанные для ТСНН, а именно - алгоритмы, базирующиеся на основе статистических критериев Шовене, Шовене-2 (соответствует исходному алгоритму, с тем отличием, что в качестве оценки среднего значения используется медиана), Роснера и кластерный (предложенный Жуковым С.Б.) Наилучшим по вероятности ложной тревоги является кластерный алгоритм. По вероятности правильного обнаружения наилучшим является алгоритм Роснера

Исследованы критерии, обнаруживающие равномерное распределение полученных значений диспаратности в стереорежиме (что необходимо для контроля функционирования ТСНН, например, обнаружения частичного выхода из строя одной из камер стереопары). Проанализированы следующие статистические критерии: Шермана, Саркади-Косика, Хегази-Грина, Янга (на отрезке $[0, 1]$), критерии Колмогорова-Смирнова (в том числе и V - критерий Купера), Фрочкини, Гринвуда-Кэсенберри-Миллера, "сглаженный" критерий Неймана-Бартона.

По результатам анализа этих графиков выбран критерий Шермана, который требует малых вычислительных затрат и достаточно устойчив к изменению количества точек, расстояния и разбросу высот.

1.3. Анализ функционирования и оптимизация процесса установления соответствия в условиях неравномерности чувствительности телевизионных камер по полю зрения при посадке на Фобос

Помимо проективных искажений на точность и надежность процесса установления соответствия оказывает существенное влияние неравномерность чувствительности камер по полю зрения. Заметная неравномерность чувствительности проявляется у ПЗС-матриц со строчно-кадровым переносом при использовании объективов, имеющих малое фокусное расстояние. На рис. 3 приведено изображение белой сферы, используемое для измерения чувствительности камер по полю зрения.

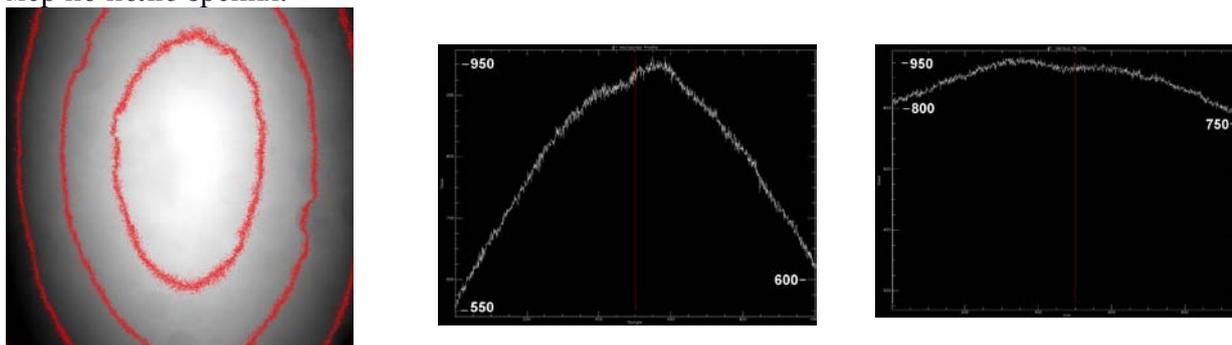


Рис. 3. Изображение сферы (шаг линий равной яркости: 128) и сечения изображения по осям OX и OY .

Для представления образов сравниваемых окрестностей использовались спектральные коэффициенты преобразования Адамара на вложенных носителях. Для компенсации неравномерности чувствительности сравнивались нормировка спектральных коэффициентов по величине средней яркости сравниваемых окрестностей и нормировка спектральных коэффициентов по степени корреляции между векторами коэффициентов. Сравнение проводилось для двух критериальных функций - суммы модулей разностей спектральных коэффициентов и суммы квадратов разностей спектральных коэффициентов.

Наилучшие результаты показала нормировка спектральных коэффициентов по степени корреляции между векторами коэффициентов при использовании суммы модулей разностей спектральных коэффициентов в качестве критериальной функции.

Предложена и исследована двойная нормировка целевых функций особенностей, используемая для поиска наиболее информативных точек изображения. Указанная двойная нормировка уменьшает разброс и смещения целевой функции особенностей в условиях неравномерности чувствительности камер по полю зрения, что позволяет реализовать предварительную селекцию точек при установлении соответствия, исключая из анализа заведомо бесперспективные точки. Это дает возможность сократить вычислительные затраты на процесс установления соответствия в 3-5 раз при очень незначительном росте числа аномальных ошибок.

2. Дальнейший анализ точностных характеристик систем технического зрения, предназначенных для решения задач посадки (стыковки).

В рамках этого направления, в частности, получены оценки точности измерения линейных и угловых координат монокулярной системой технического зрения по результатам визирования стыковочного (посадочного) маркера известной конфигурации.

Для определения точности измерения линейных и угловых координат от ракурса визирования и дальности наблюдения для больших и средних дальностей построена оценка Крамера-Рао для случая, когда для измерений используется **вся площадь маркера, а более точно – контрастные границы между областью маркера и фона.**

Полученная оценка отличается от известных ранее оценок, когда на изображении маркера выделялись отдельные особенности, и измерение положения производилось по координатам этих точек на изображении. Пример маркера приведен на рис. 4. Оценки точности измерения линейных и угловых координат приведены на рис. 5. Измеряемые координаты – расстояние r , перемещение вдоль координатных осей в плоскости ПЗС матрицы u и v , разворот вокруг оптической оси γ .

Ошибки рассчитываются для семи значений угла между оптической осью и нормалью к плоскости знака: $\alpha = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65^\circ$ и 36 значений разворота по азимуту: $\beta = 0, 10, 20, \dots, 350^\circ$. Расстояние до центра маркера – 50 м. Фокусное расстояние камеры 18 мм, поле зрения камеры $23.23^\circ \times 23.23^\circ$.

Полученные оценки и соответствующие вычислительные алгоритмы могут быть использованы при синтезе оптимальных стыковочных (посадочных) знаков.

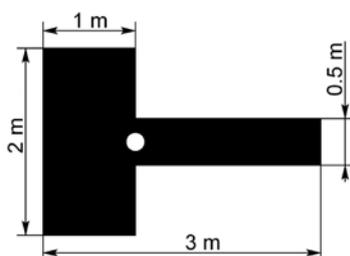


Рис. 4. Форма Т-образного маркера

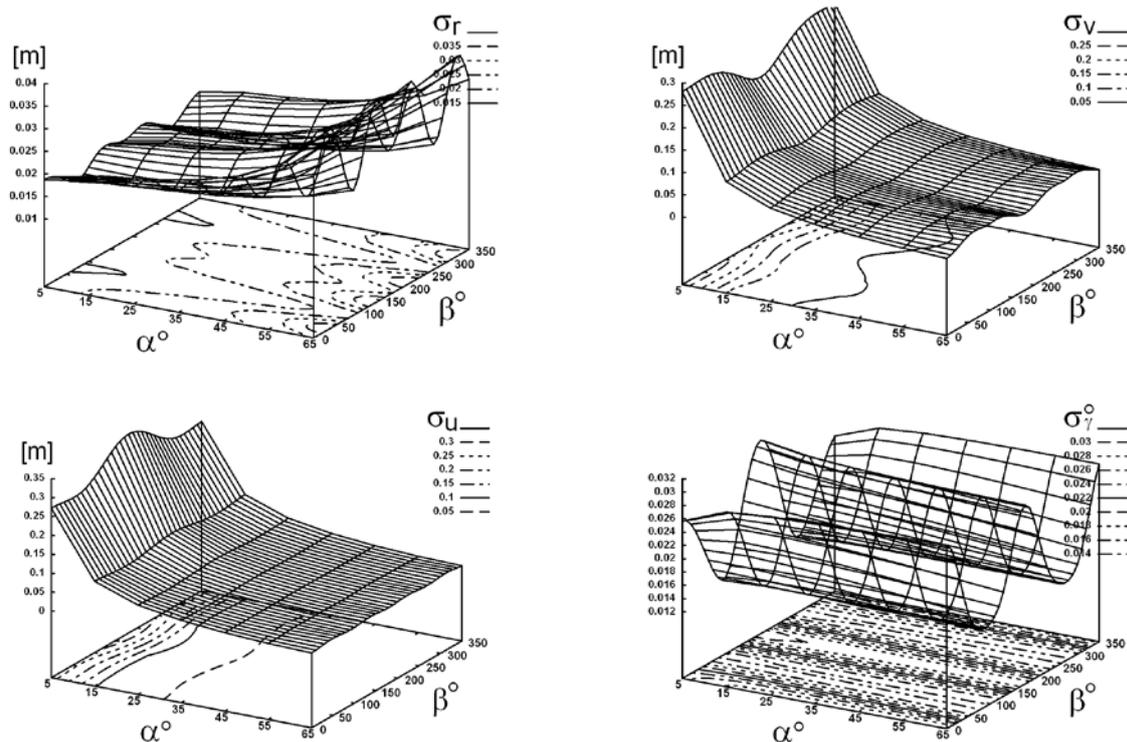


Рис. 5. Графики ошибок измерения координат относительно маркера

3. Разработка принципов интеграции перспективных полнофункциональных систем технического зрения с системами управления полетом и посадкой КА на базе автономного искусственного интеллекта.

Анализ литературы показывает, что в настоящее время системы технического зрения способны реализовать информационное обеспечение всех функций управления полетом ЛА (навигация, угловая стабилизация, поиск, обнаружение и распознавание заданных объектов, наведение, маневрирование вблизи Земли и иных поверхностей и объектов, стыковка, посадка). Также наблюдается тенденция реализации этих функций в виде единой полнофункциональной системы технического зрения. Наибольший эффект от использования таких систем можно ожидать в системах управления на основе автономного искусственного интеллекта, способных накапливать информацию об окружающем мире, оптимизировать свое поведение и быстро приспосабливаться к изменению внешних условий. Сформулированы подходы к построению систем автономного искусственного интеллекта, которые должны обеспечить их эффективное взаимодействие с системой технического зрения.

Публикации по теме:

1. Гришин В. А. Двухканальные алгоритмы установления соответствия в системах технического зрения // Датчики и системы. 2010. №5. С. 65-68.
2. Гришин В. А. Снижение вычислительных затрат на процесс установления соответствия при обработке последовательностей кадров и стереопар // Цифровая обработка сигналов, № 1, 2010. С. 23-26.
3. Grishin V. A. Precision Estimation of Camera Position Measurement Based on Docking Marker Observation // Pattern Recognition and Image Analysis, 2010, Vol. 20, No. 3. pp. 341–348; DOI: 10.1134/S1054661810030107.
4. Grishin V. A. Accuracy of Measuring Camera Position by Marker Observation // Journal of Software Engineering and Applications. Vol. 3. No 10. 2010. PP. 906-913.

5. Vladimir Grishin "Evolution of Computer Vision Systems" // В сборнике: Binocular Vision: Development, Depth Perception and Disorders. Под ред.: Jacques McCoun and Lucien Reeves. Серия: Eye and Vision Research Developments. Изд-во: Nova Science Publishers. 2010. P. 125-137.
6. Vladimir Grishin "Computer vision and artificial intelligence in flight control of unmanned aerial vehicles" // Journal of Information, Intelligence and Knowledge (JIК). Volume 2. Issue 4. Статья принята к публикации. Срок выхода в свет – 2011 год. Информация на сайте издательства по адресу: https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=13908
7. Гришин В. А., Белинская Е. В. Сравнение спектральных представлений образов окрестностей точек для решения задач установления соответствия // Сборник научных статей Шестой открытой Всероссийской ежегодной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" Москва, ИКИ РАН, 10-14 ноября 2008 г. М.: ООО «Азбука-2000». 2009. С.105-112.
8. Гришин В. А., Белинская Е. В. Анализ влияния динамики КА на характеристики алгоритмов обработки изображений в монокулярном режиме // Седьмая Всероссийская Открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса". Москва, ИКИ РАН, 16 - 20 ноября 2009 г. М.: ООО «ДоМира». 2010. С. 79-86.
9. Гришин В. А. Анализ влияния динамики космического аппарата на характеристики алгоритмов обработки изображений системы технического зрения проекта "Фобос-Грунт" // Научно-техническая конференция - семинар "Техническое зрение в системах управления мобильными объектами-2010". Материалы докладов. Таруса, ИКИ РАН, 16 - 18 марта 2010 г. <http://tz2010.cosmos.ru/>
10. Гришин В. А. Анализ функционирования и оптимизация алгоритмов установления соответствия в условиях неравномерности чувствительности телевизионных камер по полю зрения // Восьмая открытая Всероссийская конференция Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 15-19 ноября 2010 г. С. 18.
11. Гришин В. А. Верификация результатов процесса установления соответствия в алгоритмах телевизионной системы навигации и наблюдения, обеспечивающих информационную поддержку посадки на Фобос // Вторая всероссийская научно-техническая конференция Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов. Тезисы. Россия, Таруса, ИКИ РАН, 13-16 сентября 2010 г. С. 51.