

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Андрея Петровича Трещалина «Бортовой оптико-электронный программно-аппаратный комплекс контроля баллистических характеристик космического мусора», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»

Представленная для оппонирования диссертация Андрея Петровича Трещалина содержит 146 страниц текста, 29 рисунков и 9 таблиц, а также список литературы, содержащий 104 наименования.

Рецензируемая работа посвящена проблеме контроля баллистических характеристик космического мусора с помощью бортовых оптико-электронных приборов.

Актуальность темы диссертационной работы

Активное развитие космической техники, сопровождающееся ростом количества космических аппаратов, находящихся на околоземных орбитах, обусловило возникновение проблемы обеспечения безопасности космических аппаратов, пилотируемых кораблей и Международной космической станции. В настоящее время не более 6% из более чем 22000 отслеживаемых объектов в околоземном пространстве являются космическими аппаратами в рабочем состоянии, тогда как остальные объекты – неактивные космические аппараты, части отработавших ракет-носителей и их обломки – являются «космическим мусором», столкновение с которым при относительной скорости порядка 10 км/с представляет угрозу разрушения или существенного повреждения космического аппарата или пилотируемого корабля. Несмотря на то, что в настоящее время развернуты мощные наземные средства контроля космического пространства, присущие им принципиальные ограничения (невозможность круглосуточного наблюдения, помехи со стороны атмосферы, негативное влияние географических и политических факторов) диктуют необходимость создания бортовой аппаратуры космического базирования, способной в автоматическом режиме обнаруживать космические объекты и определять баллистические параметры их орбит. Таким образом, актуальность темы диссертационной работы А.П. Трещалина не вызывает сомнений.

Новизна полученных результатов

Основным новым результатом работы является разработанный автором комплекс алгоритмов начального определения параметров орбит околоземных объектов, входящий в состав программного обеспечения бортовой аппаратуры космического аппарата МКА-ФКИ. Несомненной новизной обладают также полученные с помощью этой аппаратуры

результаты космического эксперимента, проведенного в период с июля 2012 по май 2013 г.

По мнению оппонента, в составе разработанного комплекса алгоритмов наибольшего внимания заслуживает новый алгоритм обнаружения движущегося слабоконтрастного объекта и определения его координат на серии зашумленных изображений.

Новизной обладает также разработанное методическое обеспечение в виде математических моделей и методик исследования, а также полученные результаты численного моделирования и тестирования разработанных алгоритмов.

Практическая значимость результатов работы

Предложенные в работе методы и алгоритмы могут быть использованы при создании перспективных оптико-электронных приборов космического базирования, предназначенных для контроля околоземного космического пространства. Этим определяется их практическая значимость не только для решения задач обеспечения безопасности космических полетов, но и для повышения обороноспособности страны.

Практическая значимость результатов работы подтверждается их внедрением в состав программного обеспечения прибора ФГМБ, а также использованием в учебных курсах Московского физико-технического института.

Достоверность и обоснованность научных положений и полученных результатов

Достоверность и обоснованность научных положений и полученных выводов подтверждается корректным использованием математических методов, результатами компьютерного моделирования разработанных методов и алгоритмов, а также удовлетворительным согласием результатов, полученных в космическом эксперименте, с данными объективного контроля.

Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и одного приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, ее научная новизна и практическая значимость, сформулированы цели и задачи работы, описана структура работы, перечислены публикации в научных изданиях и доклады по теме работы.

В первой главе содержится обзор существующих методов определения орбит околоземных объектов и описание некоторых бортовых приборов систем навигации и ориентации космических аппаратов.

Рассматривая историческую эволюцию методов определения орбит небесных тел (планет, комет и астероидов), автор последовательно описывает

классические методы Лапласа (1780 г.), Гаусса (1801 г.), Гиббса (1889 г.), а также более современные методы Эскобала (1965 г.) и Гудинга (1997 г.). При этом первые три метода излагаются достаточно подробно, тогда как последние два получают лишь краткие характеристики. Упомянется, но не рассматривается также модификация метода Гиббса (метод Херрика-Гиббса). Делается вывод о том, что наиболее подходящим для целей диссертационного исследования методом определения орбит является метод Гаусса в сочетании с методом Гиббса.

Далее приводится описание некоторых приборов, используемых в современных системах навигации и ориентации космических аппаратов – звездных датчиков и приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем. В отдельном разделе представлена информация о физических принципах работы приборов с зарядовой связью, на основе которых во многих случаях разрабатываются звездные датчики и иные бортовые оптико-электронные приборы.

Вторая глава, целью которой, как следует из названия, является исследование влияния ошибок бортовой аппаратуры на точность начального определения орбит околоземных объектов, также имеет в большей своей части обзорный характер. Автор подробно излагает постановку задачи двух тел в небесной механике, описывает используемые системы координат, параметры орбит небесных тел, формулирует математическую модель камеры, анализирует общий подход к задаче предварительного определения орбит по данным оптических наблюдений.

Наконец, в разделе 2.6 описывается алгоритм предварительного определения орбиты, разработанный автором на основе методов Гаусса и Херрика-Гиббса.

Далее приводятся результаты математического моделирования разработанного алгоритма в среде MATLAB – вероятность неправильного определения параметров орбиты и ошибки оценок координат и скорости объекта наблюдения в зависимости от ошибок задания исходных данных.

В третьей главе излагается разработанный автором метод и алгоритм обнаружения и определения координат движущихся объектов на серии изображений, полученных с помощью бортовых оптико-электронных приборов. Изложению разработанного алгоритма предшествует обзор существующих аппаратных и программных методов решения рассматриваемой задачи – как однокадровых, так и многокадровых. Отмечается, что существующие методы при отсутствии априорной информации о направлении и скорости движения объекта, как это имеет место в рассматриваемой задаче определения орбит, требуют для своей реализации огромных вычислительных ресурсов, недоступных для бортовых вычислителей.

Разработанный автором метод, в отличие от существующих методов, не требует априорной информации о скорости движения объекта и не предполагает процедуры перебора ее возможных значений. Автор использует

тот факт, что в силу специфики работы оптико-электронного преобразователя изображение траектории на последовательности кадров представляет собой прямую пунктирную линию. Метод включает в себя три этапа: детектирование траектории движения с использованием преобразования Радона; оценка скорости движения; поиск начального положения объекта.

Приводятся результаты моделирования разработанного алгоритма в среде MATLAB, из которых следует, что алгоритм позволяет обнаруживать траекторию объекта и оценивать его начальное положение и скорость на изображениях с отношением сигнал/шум порядка 1, что как минимум на 5 дБ ниже, чем требуется для работы существующих алгоритмов.

В четвертой главе описывается бортовой программно-аппаратный комплекс обнаружения и определения параметров орбит космического мусора, в разработке которого автор принимал непосредственное участие, и результаты космического эксперимента, проведенного в период с июля 2012 по май 2013 г. на космическом аппарате МКА-ФКИ. Автор описывает аппаратный состав комплекса и структуру программного обеспечения, в котором основное место занимает алгоритм предварительного определения параметров орбит космического мусора, включающий в себя следующие этапы: очистка кадров от дефектных пикселей; коррекция смещения кадров; удаление неподвижных объектов; обнаружение и определение положения движущегося объекта на изображении; вычисление исходных данных для начального определения параметров орбиты объекта; нахождение начальных параметров орбит.

Приводятся результаты космического эксперимента, демонстрирующие удовлетворительное согласие с данными объективного контроля параметров орбит обнаруженных объектов.

В пятой главе, результаты которой не выносятся на защиту, исследуется возможность повышения точности определения параметров орбит за счет использования группировки спутников. Рассматривается задача определения параметров орбиты объекта, наблюдаемого одновременно с двух космических аппаратов, движущихся по одной орбите на некотором расстоянии друг от друга. Решение этой задачи, полученное с использованием методов эпполярной геометрии, реализовано в среде MATLAB. Результаты моделирования показывают, что при использовании двух космических аппаратов вместо одного точность оценки параметров орбиты объекта повышается на два порядка.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Оценивая работу в целом, следует отметить, что она содержит новые и важные для практических целей научные положения и результаты. При ее написании диссертант убедительно продемонстрировал умение самостоятельно ставить и решать сложные научно-технические задачи. Структура работы логична и отвечает задачам исследований.

Вместе с тем, представленная к рассмотрению работа не свободна от недостатков.

Недостатки в содержании и оформлении диссертации

1. Материал главы 1, а также часть материала главы 2 (разделы 2.1, 2.2, 2.3), представляют собой обзор известных методов небесной механики, описание приборов навигации и ориентации, принципов работы приборов с зарядовой связью, используемых систем координат. Поскольку этот материал не содержит никаких новых научных положений и результатов, он мог быть в значительной части опущен без ущерба для диссертации.

2. В разделе 3.1 описывается, в частности, оригинальный и достаточно сложный метод коррекции смещения кадров в серии, основанный на использовании алгоритма RANSAC. Однако, поскольку в состав исходных данных для разработанных алгоритмов входит, в том числе, информация об ориентации аппарата относительно инерциальной системы координат, выдаваемая бортовой системой навигации и ориентации, следовало рассмотреть возможность использования этой априорной информации для повышения эффективности алгоритма.

3. Рецензируемая работа содержит, к сожалению, ряд погрешностей в оформлении:

- в формуле (1.30) на стр. 27 неправильно поставлены индексы; должно быть: $c_3 \vec{r}_3 \times \vec{r}_1 = -c_2 \vec{r}_2 \times \vec{r}_1$;
- при описании входных параметров модели на стр. 74 пункт 4 повторяет пункт 2; по смыслу в пункте 4 должен фигурировать «вектор начальной скорости объекта»;
- формула (3.38) на стр. 93 не помещается на строке;
- в перечне публикаций зарубежных исследователей на стр. 20 фигурирует работа автора [18].

4. Замечания к списку литературы:

- наличие большого (около 20) количества источников 50-х – 80-х годов прошлого века со ссылками на них;
- ссылки [9] и [15] указывают, по-видимому, на одну и ту же книгу ([9] – перевод, [15] – оригинал).

Перечисленные замечания не носят принципиального характера, не опровергают и не снижают ценности полученных в диссертационной работе научных положений, выводов и рекомендаций. Они не влияют на положительную оценку диссертации в целом.

Заключительная оценка

Подводя итоги изложенному выше, следует отметить, что диссертация Андрея Петровича Трещалина является законченной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно, в которой содержится решение задачи разработки методов и алгоритмов предварительного определения орбит околоземных объектов по данным оптико-электронной аппаратуры космического аппарата и создания

бортового программно-аппаратного комплекса контроля баллистических характеристик космического мусора.

Полученные в диссертационной работе результаты обладают научной новизной и практической ценностью. Они достаточно полно отражены в 13 опубликованных работах автора, 3 из которых входят в перечень ВАК.

По своему содержанию работа соответствует специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», и пункту 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Отмеченные выше недостатки не изменяют общего положительного мнения о данной работе.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации, оформлен в соответствии с требованиями ВАК России.

Считаю, что рецензируемая работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Андрей Петрович Трещалин, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
заместитель начальника отдела 241
Федерального государственного
унитарного предприятия
«Московское опытно-
конструкторское бюро «Марс»



Игорь Валерьевич Соловьев

Подпись Соловьева И.В. заверяю:
заместитель директора ФГУП
«МОКБ «Марс» по кадрам



Николай Павлович Глушенков

Адрес организации:
127473, г. Москва, 1-й Шемиловский пер., д. 16, ФГУП «МОКБ «Марс»
Тел.: (495) 688-64-44
E-mail.: office@mars-mokb.ru
www.mars-mokb.ru

«21» ноября 2016 г.