

ОТЗЫВ

официального оппонента Д.С. Иванова
о диссертации Джепе Али "Задача навигации и ориентации
искусственного спутника Земли на основе датчиков угловой скорости и
многоантенного спутникового приёмника",
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.01 – теоретическая механика.

В настоящее время спутниковые навигационные системы широко применяются для определения параметров движения не только наземных объектов, но и являются неотъемлемой частью системы определения орбитального движения околоземных спутников. Данные с приемников навигационных систем могут как передаваться на Землю с телеметрией и обрабатываться совместно с измерениями радиолокационных станций, так и использоваться для автономной оценки движения на бортовом компьютере спутника. Для второго варианта требуется учитывать способности бортовых вычислительных средств, которые могут быть весьма ограниченными, особенно для набирающих популярность микро- и наноспутников, и необходимо строить достаточно простые, но в то же время надежные и удовлетворяющие по точности алгоритмы определения орбитального движения. Разработка таких алгоритмов является актуальной задачей и её решению посвящена настоящая работа.

В случае, если на спутнике установлен многоантенный спутниковый приемник навигационных сигналов, становится возможным по разности фаз определить направления на навигационные спутники в связанной со спутником системе координат, и оценить угловое положение спутника. Такой способ определения ориентации спутника является перспективным, поэтому алгоритмы, предложенные автором работы, представляют особенный научный и практический интерес.

Работа состоит из введения, трёх глав и заключения.

Во введении обозначена актуальность решения задачи автономной навигации и определения углового положения с использованием навигационных сигналов, представлены все рассматриваемые варианты постановок этих задач. Приведен обзор, затрагивающий современное состояние методов и алгоритмов обработки информации систем спутниковой навигации. Перечислены основные методы для решения задачи определения

углового движения спутника, использующие измерения традиционных датчиков (звездный датчик, солнечный датчик, магнитометр и т.д.).

В первой главе решается задача определения орбитального движения с помощью первичных спутниковых измерений – кодовых измерений дальностей и доплеровских скоростей. Преимущество обработки первичных измерений заключается в том, что с их помощью удается оценивать параметры движения даже в случае, когда количество находящихся в зоне видимости спутников меньше 4-х – это критическое значение, когда можно вычислить местоположение алгебраическими методами. Используя математическую модель орбитального движения и сформировав первые разности измерений для исключения погрешности часов приемника сигналов СНС, строится линеаризованная система для ошибок вектора состояния и модель измерений. Для этой системы применяется расширенный фильтр Калмана, который позволяет эффективно оценивать вектор состояния, что продемонстрировано с помощью численного моделирования.

Во второй главе предложен алгоритм оценки углового движения спутника с использованием многоантенного приемника СНС и трёхосного датчика угловой скорости. Рассматривается случай с тремя приемниками, установленными на спутнике, для задачи коррекции вычисляются первые разности фазовых измерений. При этом в вектор состояния добавляются разности целочисленных неопределенностей – целое число длин волн сигнала, укладываемых между антеннами. Для частного случая углового движения микроспутника "Университетский-Татьяна-2" при стандартных шумовых параметрах приемников было показано, что можно достичь точности определения ориентации до нескольких угловых минут, что является достаточно хорошим показателем особенно для микро- и наноспутников.

Третья глава является вспомогательной ко второй главе, но содержит важные исследования точности оценок углового движения в случае ошибок знания местоположения принимающих антенн на спутнике, и поэтому выделена отдельно. Ковариационный анализ показал, что в случае ошибки в знании положения антенн порядка одного сантиметра точность оценки углового движения практически не страдает.

В заключении описаны основные результаты работы.

По работе имеются следующие замечания:

В разделе 1.8 в определении инерциальной и орбитальной систем координат заданы направления только одной оси, а направления вторых осей не определены. Для траекторной системы координат "ось Mt_1 совпадает с вектором абсолютной скорости движения спутника" только в случае рассмотрения круговой орбиты.

В разделе "Результаты обработки данных" главы 1 приведены графики ошибки оценки вектора состояния и число спутников в зависимости от времени. Согласно рис. 2а число спутников, находящихся в зоне, становится меньше 4 в момент времени примерно 750с., но ошибки на рис. 1 в случае слабо связанной интеграции начинают значительно увеличиваться уже в момент времени 500с. Хотя ранее утверждалось, что получения вторичной информации с приемников СНС 4-х спутников достаточно. Также в этом разделе не приведены значения моделируемых шумовых составляющих вторичных измерений.

При изучении наблюдаемости и при моделировании углового движения спутника во второй главе за основу было взято движение микроспутника "Университетский-Татьяна-2", который совершал колебательные движения по углам крена и тангажа, а по углу курса вращался с постоянной скоростью. Для задания движения вводились углы как функции от времени (формулы (91) и на стр. 57). Такой способ моделирования углового движения является неестественным, описывает лишь частный случай движения и несколько ограничивает общность задачи.

В заключении к главе 3 указано, что "смещения по боковой или вертикальной оси базового вектора оказывают значительно большее влияние на точность оценивания, чем по продольной оси". Однако это заключение не подкреплено демонстрацией численного примера или логическим объяснением.

Есть ряд замечаний по оформлению. Нумерация глав диссертации не соответствует нумерации заголовков. Заголовки третьего уровня не всегда пронумерованы и идентичны по стилю заголовкам второго уровня, что затрудняет чтение текста. В тексте диссертации имеются опечатки и пропуски обозначений.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Работа выполнена на высоком научном уровне. Полученные результаты являются обоснованными и достоверными, постольку получены с помощью аналитических и численных математических методов анализа динамических систем. Результаты, содержащиеся в диссертации,

опубликованы в 2-х изданиях, рекомендованных ВАК. Автореферат диссертационной работы и публикации автора полностью отражают содержание диссертации и соответствуют требованиям ВАК.

Считаю, что работа "Задача навигации и ориентации искусственного спутника Земли на основе датчиков угловой скорости и многоантенного спутникового приёмника" удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика, а её автор – Джепе Али – заслуживает присуждения ему искомой степени.

Официальный оппонент
Старший научный сотрудник
ИПМ им. М. В. Келдыша РАН,
кандидат физико-математических наук

Тел.: 8 (499) 250-79-29
email: danilivanov1@gmail.com

Д.С. Иванов

01.09.2016

Подпись Д.С. Иванова заверяю
Ученый секретарь
ИПМ им. М. В. Келдыша РАН,
кандидат физико-математических наук



А.И. Маслов