

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Московского авиационного института

(национального исследовательского

университета)

Равикович Юрий Александрович

«10» 11 2021 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)

на диссертационную работу Пустошилова Александра Сергеевича

«Повышение точности обработки данных ГНСС с использованием

полиномиальных и адаптивных методов»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация»

Диссертационная работа посвящена исследованию методов обнаружения скачков в одночастотных фазовых измерениях навигационного сигнала, а также разработке методов обработки финальных орбит навигационных спутников с целью поиска в них аномалий.

Актуальность данного исследования определяется недостаточной проработкой в литературе способов обнаружения малых (порядка одного фазового цикла) скачков в фазовых измерениях одночастотных навигационных приемников без привлечения дополнительной информации. Необходимость разработки новых алгоритмов поиска аномалий в SP3-данных (финальных орбитах навигационных спутников) без привлечения дополнительной информации и определения кинематических параметров движения

навигационных спутников по ограниченному набору данных определяется отсутствием в литературе таких методов.

Способы поиска аномалий и определения кинематических параметров движения навигационных спутников, с одной стороны, имеют самостоятельный интерес, с другой стороны, существенно развивают математический аппарат для решения задач обнаружения малых скачков в фазовых измерениях.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении автор дает обоснование актуальности исследования, формулирует цель работы, формулирует: научную новизну работы, научную и практическую значимости проведенных исследований, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационного исследования приведен обзор существующих методов поиска аномалий в финальных орбитах навигационных спутников и разработана методика поиска аномалий, основанная на полиномиальных аппроксимациях их орбит. В качестве данных для исследования полиномиальных методов выступают финальные орбиты навигационных спутников, которые, с одной стороны, необходимы для постобработки измерений, осуществляемых по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), с другой стороны, непосредственно связаны с геометрической дальностью между навигационным приемником и спутником, которая входит в состав математической модели фазовых измерений навигационного приемника.

Разработанная в рамках главы методика позволяет обнаруживать аномалии в орбитах навигационных спутников более 5 мм, а также определять их тип. Исследованные при разработке методики полиномиальные методы используются для построения линейного фильтра медленноменяющегося тренда измерений в третьей главе.

Во второй главе приведен обзор существующих методов интерполяции и экстраполяции орбит навигационных спутников. Разработан новый подход к свободной (адаптивной) интерполяции и экстраполяции орбит навигационных спутников, который позволяет сократить количество интерполяционных функций. С помощью данного подхода разработаны методы интерполяции кинематических параметров навигационных спутников: *линейный* по 6-ти SP3-точкам и *нелинейный* по 2-м SP3-точкам с точностью в несколько миллиметров.

Разработанный в данной главе подход используется в третьей главе для построения линейного фильтра медленноменяющегося тренда измерений на основе адаптивного базиса, что позволяет сократить его размер по сравнению с полиномиальным базисом.

Подход к свободной интерполяции, разработанный в данной главе, имеет большой спектр применения во многих задачах обработки данных ГНСС, в частности, нашел применение в задачах моделирования ионосферы, о чем написано в выводах по главе.

В третьей главе приведен обзор существующих алгоритмов поиска скачков в фазовых измерениях. Разработаны новые методы поиска скачков в фазовых измерениях одночастотного навигационного приемника с применением алгоритмов из семейства sparse recovery (разреженное восстановление), а также полиномиальных (исследованы в первой главе) и адаптивных (исследованы во второй главе) методов.

В данной главе был разработан простой метод обнаружения скачков в фазовых измерениях одночастотного навигационного приемника в случае применения в нем высокостабильного опорного генератора на основе применения линейного фильтра медленноменяющегося тренда. В случае использования в приемнике низкостабильного опорного генератора используются разработанные в главе модификации алгоритмов из семейства

sparse recovery также с использованием линейного фильтра медленноменяющегося тренда.

Разработанные алгоритмы позволяют с высокой точностью обнаруживать положение разрывов и их величину в фазовых измерениях одночастотных навигационных приемников.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационном исследовании.

В приложении приведены акты внедрения.

Научная новизна полученных в диссертации результатов состоит в том, что показаны:

1. Возможность определения типа аномалии в финальных орбитах по невязкам полиномиальной аппроксимации;
2. Возможность линейной интерполяции орбит навигационных спутников по 6 значениям SP3-данных с шагом 15 минут с миллиметровой точностью;
3. Возможность интерполяции орбит навигационных спутников по двум SP3-точкам путем применения нелинейной интерполяции с учетом информации о векторе лунно-солнечных ускорений с миллиметровой точностью;
4. Возможность обнаружения скачков в одночастотных фазовых измерениях без использования дополнительной информации;
5. Возможность использования адаптивной фильтрации для исключения медленно меняющегося тренда в фазовых измерениях.

Практическая значимость работы состоит:

– в анализе аномалий данных аналитических центров для навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS за 2010–2018 годы с использованием разработанного автором программного комплекса;

– разработке программной реализации свободной интерполяции кинематических параметров движения навигационного спутника, что позволяет

уменьшить объем используемой информации при сохранении высокой точности;

– разработке программной реализации алгоритмов поиска скачков в фазовых измерениях на основе полиномиальных и адаптивных фильтраций.

Разработанные автором алгоритмы и программные реализации применяются при обработке данных ГНСС при выполнении заказов АО «ИСС» в СФУ, что подтверждается актами внедрения.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в организациях, на базе которых созданы центры мониторинга и анализа характеристик услуг ГНСС, а именно: АО «ЦНИИмаш» ИАЦ КВНО, ОАО «НПК «СПП», ФГУП «ВНИИФТРИ».

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным применением математического аппарата. Эффективность предложенных решений подтверждена результатами сравнения с существующими методами.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. В диссертационной работе встречаются незначительные опечатки;
2. В первой главе диссертационной работы при рассмотрении полиномиальных методов аппроксимации орбит навигационных спутников для выявления аномалий, автор к аномалиям в финальных орбитах относит такие эффекты как вхождения спутника в тень и маневры (для спутников GPS), что является естественным поведением навигационного спутника;
3. Во второй главе диссертации не раскрывается полный состав действующих на навигационный спутник сил при решении задачи численного интегрирования, формула 2.1;
4. При исследовании адаптивных методов интерполяции и экстраполяции не рассматривался вопрос пропусков в SP3-данных;
5. На рисунках 3.16 – 3.18 исказились подписи к вертикальной оси.

Однако, недостатки, отмеченные в замечаниях выше, не снижают научной и практической значимостей основных результатов, полученных автором и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

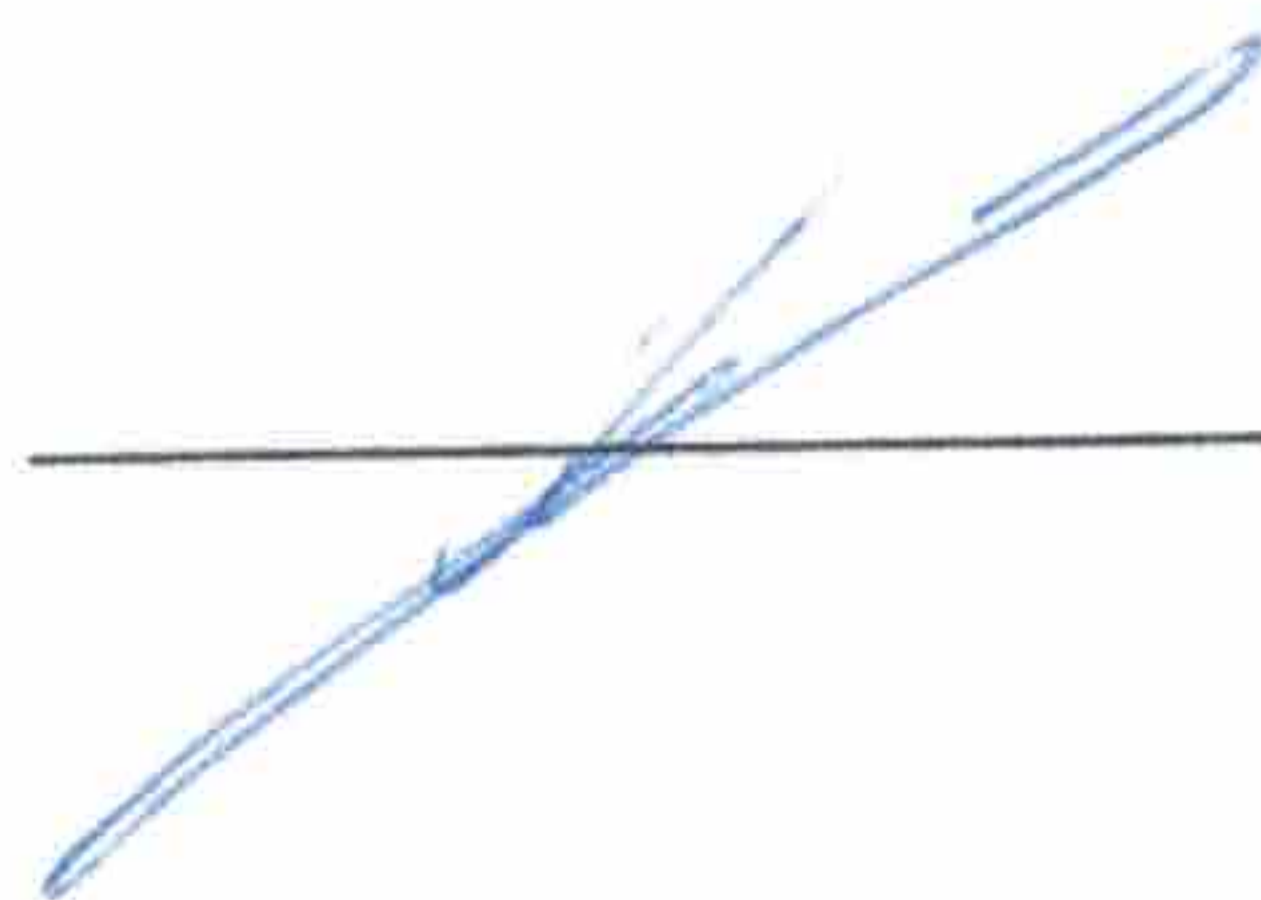
1. Диссертация Пустошилова А.С. является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, посвященной решению актуальной прикладной научной задачи – повышению точности обработки данных глобальных спутниковых навигационных систем, и имеющей существенное значение для развития спутниковой радионавигации.

2. Автореферат отражает основные положения диссертации.

3. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 и 10 «Положения о присуждении ученых степеней» утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Пустошилов А. С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация».

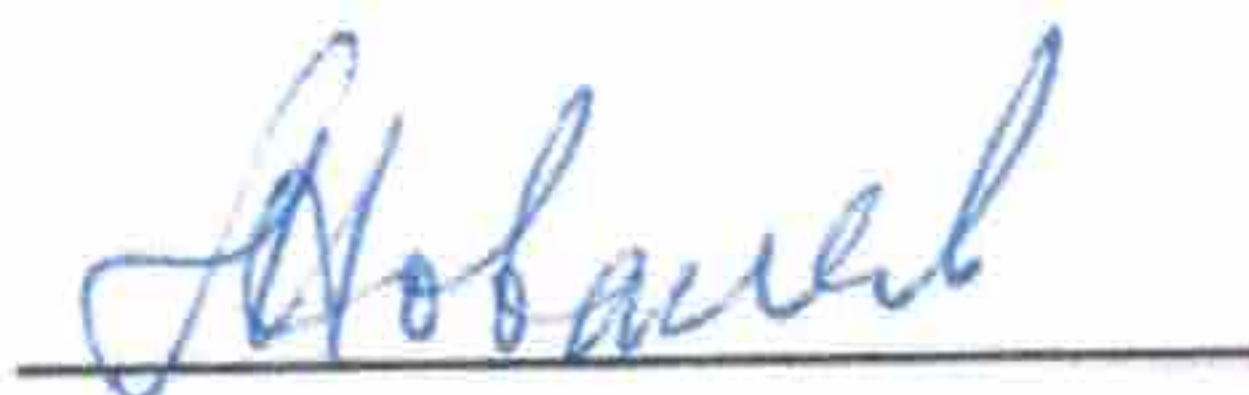
Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании кафедры «Радиосистемы и комплексы управления, передачи информации и информационная безопасность» МАИ 09.11.2021, протокол №11/2021.

Заведующий кафедрой
«Радиосистемы и
комплексы управления,
передачи информации и
информационная
безопасность»



к.т.н., проф. Мазепа
Роман Богданович

Профессор кафедры
«Радиосистемы и
комплексы управления,
передачи информации и
информационная
безопасность»



д.т.н., проф. Поваляев
Александр Александрович

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»

Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993

+7 499 158-49-33

+7 499 158-25-18

E-mail: mai@mai.ru

Сайт: <https://mai.ru/>