

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального директора
по науке ФГУП ЦНИИмаш,
доктор технических наук,



О.П. Клишев
« 4 » августа 2014 г

ОТЗЫВ

ведущей организации «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»
на диссертацию Подкорытова Андрея Николаевича

«Высокоточное местоопределение в глобальных навигационных спутниковых системах в абсолютном режиме за счет разрешения неоднозначности псевдофазовых измерений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.12.14 - «Радиолокация и радионавигация»

Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме повышения оперативности высокоточного местоопределения в глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) в абсолютном режиме. Основным недостатком широко распространенных сегодня традиционных методов высокоточного абсолютного местоопределения в ГНСС (методы Float PPP) является долгий период сходимости к точному решению – сантиметровая точность местоопределения потребителя в них достигается через несколько часов обработки измерений, что неприемлемо для ряда практических приложений. В работе рассматривается использование разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений при высокоточном абсолютном местоопределении (методы Integer PPP), что позволяет существенно (в десятки и даже сотни раз) повысить оперативность местоопределения потребителя. Теоретическое обоснование известных в настоящее время эмпирических методов Integer PPP отсутствует. Таким образом, разработка теории и исследование методов высокоточного местоопределения в ГНСС в абсолютном режиме с использованием разрешения неоднозначности псевдофазовых измерений является актуальной и востребованной задачей.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и одного приложения. Работа изложена на 195 страницах машинописного текста, содержит 65 рисунков, 4 таблицы, список литературы включает 123 наименования.

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели, задачи, объект и предмет исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, указаны методы исследований, рассмотрена научная новизна, практическая и теоретическая значимость полученных результатов, кратко рассмотрено содержание глав диссертации.

В первой главе проводится обзор литературы по методам высокоточного местоопределения в ГНСС в абсолютном режиме с разрешением неоднозначности псевдофазовых измерений, а также приводится их классификация. На основании проведенного обзора сделан вывод о том, что основной причиной, препятствующей оценке целочисленных псевдофазовых неоднозначностей, являются аппаратные смещения на спутнике и в приемнике. Автором для дальнейших исследований выбран подход, разработанный в Министерстве природных ресурсов Канады (NRCan) и основанный на разделении смещений показаний часов спутников и приемника в соответствии с типом измерений.

Во второй главе рассматриваются основные принципы местоопределения в ГНСС в режиме Float PPP, описаны методы компенсации ряда систематических смещений в навигационных измерениях. Приводится математическая модель навигационных измерений, используемая в режиме Float PPP. Автором показано, что в рамках указанной модели измерений неоднозначности оцениваются действительными числами, вбирая в себя комбинации немоделируемых аппаратных смещений. Во второй главе также приводятся сравнительные результаты оперативности местоопределения в режиме Float PPP для реализованного автором алгоритма и для ряда международных сервисов высокоточного местоопределения. Показано, что период сходимости к сантиметровой точности в режиме Float PPP составляет 6-20 часов.

В третьей главе рассмотрены алгебраические методы преодоления дефицита ранга при высокоточном местоопределении в ГНСС в абсолютном режиме с разрешением неоднозначности псевдофазовых измерений для ГЛОНАСС и GPS. Приведены различные математические модели указанных ГНСС, в которых возможна реализация местоопределения в режиме Integer PPP. На основании анализа указанных моделей измерений установлено фундаментальное свойство сингулярных систем уравнений в ГНСС: в пространстве оцениваемых параметров оси системы координат, вдоль которых откладываются геометрические параметры, ортогональны ядру (нуль-пространству) информационной матрицы сингулярной системы уравнений. С учетом выявленного свойства разработаны методы использования теории S-преобразования применительно к задаче высокоточного абсолютного местоопределения в ГНСС, в которых часть параметров оценивается в виде линейных комбинаций. В третьей главе описаны алгоритмы формирования оцениваемых линейных комбинаций с сохранением целочисленности комбинаций неоднозначностей псевдофазовых измерений. Также в третьей главе представлен фильтрационный метод, позволяющий исключить ионосферные задержки сигнала из числа оцениваемых параметров. Данный метод позволяет отказаться от использования

ионосферосвободных линейных комбинаций измерений и работать с измерениями на исходных частотах ГЛОНАСС и GPS.

В четвертой главе описано использование информации о целочисленной природе неоднозначностей псевдофазовых измерений для снижения периода сходимости к точному решению в методах Integer PPP, приводится блок-схема алгоритма местоопределения в режиме Integer PPP. Представлены методы использования атмосферных ограничений для уменьшения периода сходимости после сбоя в измерениях. Приведены сравнительные результаты оперативности местоопределения в режимах Float PPP и Integer PPP, согласно которым использование разрешения неоднозначности псевдофазовых измерений при местоопределении в ГНСС в абсолютном режиме позволяет существенно снизить период сходимости к точному решению (в десятки и даже сотни раз).

В пятой главе описаны алгоритмы вычисления по сети станций разделенных спутниковых поправок (сетевое решение), которые являются необходимыми данными для реализации местоопределения в режиме Integer PPP. Разработанные в третьей главе методы формирования оцениваемых линейных комбинаций параметров с сохранением целочисленности описаны применительно к задаче сетевого решения. В пятой главе также описано использование теории графов применительно к задаче Integer PPP. Приведены результаты сравнения качества разделенных спутниковых поправок, вычисленных автором работы по локальной сети европейских станций, а также разделенных поправок, вычисленных в Министерстве природных ресурсов Канады по глобальной сети станций. Сделан вывод о том, что результаты высокоточного местоопределения в режиме Integer PPP при использовании двух указанных наборов спутниковых поправок сравнимы в смысле точности и оперативности.

В заключении проведен анализ основных результатов диссертационной работы.

Научная и практическая значимость результатов

Научная новизна состоит в выявленном свойстве ортогональности ядра информационной сингулярной матрицы систем линеаризованных уравнений для измерений ГЛОНАСС и GPS. Теоретическую значимость имеет разработанное приложение теории S-преобразования к высокоточному абсолютному местоопределению в ГНСС, а также разработанный фильтрационный метод, позволяющий не оценивать мешающие параметры. Практически значимыми результатами являются существенное повышение оперативности (в десятки и даже сотни раз) методов Integer PPP, а также разработанный алгоритм вычисления по сети наземных станций спутниковых поправок, позволяющих реализовать высокоточное местоопределение в ГНСС в абсолютном режиме с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Автору работы рекомендуется продолжить исследования в данном направлении. Результаты диссертации могут быть использованы для реализации местоопределения в режиме

Integer PPP с использованием измерений станций российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), а также при разработке программного обеспечения навигационной аппаратуры потребителя для высокоточных абсолютных определений по сигналам ГЛОНАСС с кодовым разделением, которые реализуются на новых космических аппаратах системы ГЛОНАСС.

Замечания по диссертации

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1) Слишком большой объем работы – многие разделы диссертации написаны чересчур детально, материал можно было изложить компактнее.

2) Применение теории векторных пространств к решаемой задаче высокоточного местоопределения в ГНСС с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений изложено несколько абстрактно, что затрудняет понимание описанного подхода.

3) Графический материал в диссертации перегружен комментариями и обозначениями на английском языке.

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают общей ценности рассматриваемой диссертационной работы.

Заключение

Диссертация на тему «Высокоточное местоопределение в глобальных навигационных спутниковых системах в абсолютном режиме за счет разрешения неоднозначности псевдофазовых измерений» Подкорытова А. Н. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют большое теоретическое и практическое значение. Аналитические результаты работы получены с использованием адекватного математического аппарата и подкреплены экспериментальными результатами обработки реальных измерений навигационной аппаратуры систем GPS и ГЛОНАСС.

По результатам научных исследований в рамках диссертационной работы опубликовано 17 работ, в том числе 7 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертаций; 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ в Роспатенте, тезисы 5 международных конференций, 4 публикации в сборниках докладов Всероссийских и региональных конференций.

Автореферат полностью и достоверно отражает основное содержание диссертации.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что диссертация на тему «Высокоточное местоопределение в глобальных навигационных спутниковых системах в абсолютном режиме за счет разрешения неоднозначности псевдофазовых измерений» отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Андрей Николаевич Подкорытов заслуживает присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 - «Радиолокация и радионавигация».

Отзыв отобсужден и согласован на заседании секции №3 НТС ИАЦ КВНО ФГУП ЦНИИмаш 30 июня 2014 года, протокол № 14/21.

Начальник ЦТА
д.т.н., профессор

Ю.М. Липницкий

Главный ученый секретарь предприятия
д.т.н., профессор

В.Н. Почукаев

Начальник ИАЦ КВНО
к.т.н.

С.Н. Карутин

Начальник отдела 3004
к.т.н.

Е.И. Игнатович

Научный сотрудник отдела 3004
к.т.н.

П.Б. Глухов

Ученый секретарь секции №3 НТС

И.А. Золкин