

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента Мустафина Мурата Газизовича на диссертацию Долина Сергея Владимировича на тему «Разработка методики коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.22. Геодезия.

Актуальность избранной темы.

Технологии измерений с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) с каждым годом совершенствуются. При этом увеличивается набор данных о позиционировании конкретного объекта. Причем данные могут быть получены из разных источников. Другими словами, сегодня мы имеем возможность получения довольно большой информации об объекте (координаты и другие его параметры), которую необходимо использовать. Обработка этих избыточных данных представляет собой весьма важную и актуальную задачу. Работа автора направлена на разработку алгоритма по такой обработке и, в этом смысле, безусловно, актуальна.

Автор рассматривает информацию о данных с навигационных устройств. К общепринятым и применяемым в производстве технологиям высокоточного определения координат посредством ГНСС в режиме реального времени относятся: SBAS – технология функциональных дополнений космического базирования (СФДК) на основе стандартов ICAO; – Precise Point Positioning (PPP) на основе поправок в пространстве состояния системы (ПСС); – Real Time Kinematic (RTK) – реализация относительного метода в режиме реального времени на основе поправок в пространстве ГНСС-измерений. Автор обобщил исходя из анализа исследований и запросов производства требования к глобальному высокоточному позиционированию в режиме реального времени. При этом для высокоточной навигации в режиме реального времени выделены наиболее перспективные технологии на основе методов PPP и RTK, что представляется правильным и подчеркивает актуальность диссертации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Первое научное положение, выносимое на защиту:

- разработка новой методики коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, позволяющей обеспечить повсеместное покрытие высокоточным навигационным полем; многократно сократить нагрузку на телекоммуникационную сеть; обеспечить время инициализации и точность определения координат, характерные для метода RTK.

Суть методики коллаборативного позиционирования состоит в отслеживании взаимодействия ГНСС-приемников друг с другом, следующим

Вх № 01-05/01/46
Дата 23.09.2024

образом, «Базовая станция» и «Мобильная станция» рассматриваются не как постоянные типы приемников, а как меняющие свой статус. Помимо них добавлен новый еще один приемник, которому присвоен статус «Кандидат». Взаимодействия между ними выполняется по алгоритму фильтрации Калмана. При этом алгоритм предусматривает оригинальные конкретные процедуры соблюдения всех критериев для решения обработки PPP и RTK измерений. Автором реализованы эти алгоритмы в программном виде, что безусловно заслуживает высокой оценки. В итоге координаты, полученные по методу PPP пересчитывается с учетом данных RTK, за счет чего получают улучшение точности на значительной территории. Положение следует признать доказанным.

Второе научное положение:

- модификация системы линейных алгебраических уравнений метода PPP для применения дифференциальных кодовых задержек в реальном времени из потока поправок ПСС для систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo, позволяющая значительно сократить время сходимости решения при многосистемных ГНСС-измерениях в режиме реального времени, представленная в открытом исходном коде на основе программной библиотеки RTKLIV для обработки ГНСС-измерений в режиме реального времени.

Автором модифицирована консольная версия программы «rtkrsv» из набора программной библиотеки с открытым исходным кодом для стандартного и высокоточного позиционирования с помощью ГНСС RTKLIV. Были внесены следующие изменения: 1) чтение данных из файлов ДКЗ (дифференциальные кодовые задержки) в версии формата Bias SINEX (BSX); 2) модифицирован алгоритм для выполнения мультисистемных ГНСС-измерений с помощью ДКЗ как из потока SSR-поправок, так и из BSX-файла.

Модификация позволила исключить влияние ДКЗ в многосистемных измерениях с использованием GPS, ГЛОНАСС и Galileo и провести анализ измерений в широком диапазоне спутниковых систем. В итоге методика КП продемонстрировала более высокую точность позиционирования в сравнении с методом PPP во всех экспериментах и по сравнению с методом RTK при расстоянии между мобильной и базовой станцией более 80 км, независимо от того, двигаются «Мобильная станция» или «Кандидат», или нет. Таким образом и второе положение следует считать обоснованным.

Выводы и рекомендации: разработана методика коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем на основе предложенного в ходе исследования алгоритма управления фильтром Калмана для метода PPP; модифицирована система линейных алгебраических уравнений метода PPP для учета дифференциальных кодовых задержек в режиме реального времени из потока поправок ПСС для систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo в свободном программном обеспечении RTKLIV; обеспечено соответствие методики КП перспективным требованиям потребителей высокоточной навигации в

режиме реального времени: определение СКО по внутренней сходимости координат в кинематическом режиме не более 20 см и не более 10 см для статического режима; время, необходимое на получение координат с указанными СКО, не более 2 минут; время, необходимое для восстановления указанного уровня СКО после прерывания приема сигналов ГНСС, не более 5 с; глобальность и непрерывность высокоточного навигационного поля; минимальный объем данных, передаваемых по телекоммуникационным сетям; проведена экспериментальная оценка эффективности сервиса коллаборативного позиционирования и методики в сравнении с классическими методами и подходами.

Таким образом, в целом степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций следует считать весьма высокой.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Методологическую основу исследования составили методы статистической обработки результатов измерений, методы решения задач космической геодезии. Теоретическая база исследования включает хорошо зарекомендовавшие себя и широко используемые наработки: теория математической обработки геодезических измерений, алгоритм расширенного фильтра Калмана. Эмпирической базой исследования являлись: координаты наземных измерительных пунктов (НИП) Международной ГНСС-службы (МГС) (англ. IGS – International GNSS-service), созвездие навигационных космических аппаратов (НКА) GPS, ГЛОНАСС, Galileo, результаты ГНСС-измерений, сервисы передачи поправок в пространстве состояния системы ПСС.

Методика коллаборативного позиционирования была испытана на реальных объектах в ходе довольно многочисленных псевдокинематических и кинематических тестов. В псевдокинематических тестах позиционирование выполнялось в кинематическом режиме на неподвижных объектах – станциях сети МГС и Подкомиссии по региональной системе отсчета для Европы (ПРСОЕ) (англ. – Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe (EUREF)). Кинематические тесты выполнены на автомобиле в условиях городской среды. Точность решения определялась по внешней сходимости с эталоном. В псевдокинематических тестах в качестве эталона использовались координаты пунктов из каталогов ITRF2020, в кинематических тестах использовался эталонный трек, полученный из постобработки относительным методом по данным геодезического ГНСС-приемника Stonex S800A.

Таким образом, представленные результаты обладают высокой степенью достоверности. Результаты исследований и основные положения диссертации обсуждались и были одобрены на международных научных конгрессах «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (2021–2024 гг., г. Новосибирск); на рабочем собрании научно-исследовательского центра Минобороны России (2021 г., г. Новосибирск); Национальной научно-практической конференции «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и

геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» (2023 г., г. Новосибирск); XXVI конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» (2024 г., г. Санкт-Петербург); XXXI Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам (2024 г., г. Санкт-Петербург). Основные результаты диссертационного исследования использованы в СЧ НИР «ГЕОТЕХ-КВАНТ», а также в учебном процессе на кафедре космической и физической геодезии ФГБОУ ВО «СГУГиТ» при изучении специальных дисциплин студентами направления «Геодезия и дистанционное зондирование» и при выполнении курсовых и дипломных работ.

О достоверности результатов исследований косвенно свидетельствуют публикации по теме диссертации. Результаты исследований представлены в 6 публикациях, из которых 2 статьи – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 1 статья – в издании, входящем в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus, 1 – свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Научная новизна.

Новыми научными результатами следует признать разработанную методику коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, впервые реализующая концепцию коллаборативного позиционирования (2019 год, Ризос К. и Кроненбрук Дж. Ван), согласно которой в роли источника поправок в сети может выступать ГНСС-аппаратура любого из пользователей. Также разработан новый способ инициализации расширенного фильтра Калмана для метода PPP в реализации методики коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, при котором априорная информация поступает из модифицированного оптимизационного решения.

Теоретическая и практическая значимость исследований.

Теоретическая значимость заключается в разработке управляемой комбинации существующих методов высокоточного позиционирования PPP и RTK на основе методики коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, позволяющей определять координаты с СКО по внутренней сходимости в кинематическом режиме не более 20 см и не более 10 см для статического режима, сокращать время получения координат с указанной точностью, восстанавливать измерения с указанной точностью после прерывания приема сигналов ГНСС, в течение 5 с, обеспечивать глобальность и непрерывность высокоточного навигационного поля, передавая минимальный объем данных. Разработан критерий оптимизации решения метода PPP в реализации методики

коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем.

Практическая значимость заключается в разработке методики и создании условий для существенного расширения сферы применения высокоточного позиционирования с помощью ГНСС. В отличие от ранее использовавшихся методов, применяемых преимущественно в решении геодезических задач, новая методика предназначена для широкого спектра применений, включая навигацию беспилотных транспортных систем и предоставление различных услуг на основе высокоточного позиционирования. Расширение области применения предполагается за счет следующих новых свойств КП: повышенная надежность навигационного решения, обусловленная дублированием элементов системы и сравнением разных типов решения в режиме реального времени; многократное снижение нагрузки на телекоммуникационную сеть (в сравнении с RTK) в случае подключения от нескольких сотен до десятков тысяч пользователей одновременно на ограниченном участке местности, например, в крупном городе; повсеместное покрытие высокоточным навигационным полем (на первом этапе – в пределах действия сетей сотовой связи) за счет применения метода PPP; сокращение времени инициализации высокоточного решения до значений, характерных для метода RTK.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.

Содержание автореферат полностью соответствует основным положениям диссертации.

Замечания.

1. В диссертации обозначены области применения разработанной методики, однако желательно было бы привести примеры ее использования при решении конкретной геодезической задачи при изысканиях или строительстве.

2. Почему используется система координат ENU, следовало бы перевести данные в геодезические координаты и сравнивать с довольно широкой базой пунктов с известными координатами.

3. Автор использует методику КП в связке PPP и RTK, что показало хорошие результаты на больших расстояниях, но все же уступает статике. Может следует в качестве «кандидата» использовать режим «статики»?

Заключение.

Приведенные замечания не значительно влияют на общее положительное впечатление о диссертации. Диссертационная работа Долина Сергея Владимировича является завершенной научной квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки методики коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, обеспечивающей требуемую точность

при решении навигационных задач, а также геодезического мониторинга протяженных линейных объектов, имеющей значение для развития геодезии.

Диссертационная работа: «Разработка методики коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем», соответствует критериям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Долин Сергей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.22. Геодезия.

Официальный оппонент,
доктор технических наук

Мустафин Мурат Газизович

Главный ученый секретарь
Ученого совета

Хлопонина Вера Сергеевна

17.09.2024

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»,

Заведующий кафедрой инженерной геодезии

адрес: 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2

Телефон: +7(812) -322-26-21,

электронная почта: Mustafin_MG@pers.spmi.ru

Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация оппонента:

2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная геофизика



M.S. Mustafaev, V.S. Khlopina

Уполномоченный для управления делопроизводства
и документооборота

Е.Р. Яновицкая

17 СЕН 2024