

ПРИМЕНЕНИЕ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ НАКЛОНА ВЕХИ С АНТЕННОЙ ГНСС-ПРИЕМНИКА

Сергей Романович Горобцов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)471-55-67, e-mail: sergey@gorobtsov.com

Быстрое развитие глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), совершенствование ГНСС-приемников геодезического класса точности, а также развитие технологий инерциальных измерительных систем создает перспективы для повышения производительности и удобства работы пользователей с высокоточным RTK позиционированием. Благодаря использованию технологии компенсации наклона, RTK позиционирование с помощью ГНСС-приемника может применяться в сложных, для геодезиста, ситуациях с повышенной скоростью и эффективностью. В статье рассмотрены преимущества применения инерциальной системы для компенсации наклона вехи в ГНСС-приемниках на примере Leica GS18 T, а также сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: геодезическая съемка, геодезическое оборудование, ГНСС, ГНСС-приемник, инерциальная система IMU, RTK.

APPLICATION OF AN INERTIAL SYSTEM FOR COMPENSATION OF THE TILT OF A MARKER WITH ANTENNA IN GNSS RECEIVERS

Sergey R. Gorobtsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo st., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)471-55-67, e-mail: sergey@gorobtsov.com

The rapid development of GNSS, GNSS receivers of geodetic accuracy class, and inertial measurement units is offering a great opportunity to improve the applicability, productivity and user experience of high-precision RTK positioning. Benefiting from the tilt compensation technology, RTK positioning using a GNSS receiver can be used in difficult situations with increased speed and efficiency. In the article application of an inertial system for compensation of the marker tilt in GNSS receivers using Leica GS18 T as an example is considered, appropriate conclusions are made.

Key words: geodetic survey, geodetic equipment, GNSS, GNSS receiver, inertial measurement unit, IMU, RTK.

Введение

Быстрое развитие глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), совершенствование ГНСС-приемников геодезического класса точности, а также развитие технологий инерциальных измерительных систем (Inertial Measurement Unit, IMU) [1–3] создают возможности и перспективы для повышения удобства

и производительности высокоточного позиционирования в режиме реального времени (Real Time Kinematic, RTK). ГНСС-приемник является одним из современных геодезических приборов, которые применяются для определения координат на местности [4, 5], а также для формирования единого геопространства территорий [6–9].

При выполнении полевых работ с использованием ГНСС-приемника, не имеющего инерциальной системы, в стесненных условиях (где отсутствует возможность вертикальной установки ГНСС-вехи) часто возникают сложности в позиционировании объектов. Подобные ситуации возникают при координировании углов зданий, фонарных столбов, люков под автомобилями, низких проемов, частично закрывающих небосвод и т.д., где вежу с ГНСС-приемником невозможно установить над измеряемой точкой.

И вот, несколько лет назад, на рынке геодезических приборов появились ГНСС-приемники с инерциальными системами (ранее они использовались преимущественно в авиационной и морской навигации) для компенсации наклона вехи с ГНСС-приемником.

Первые ГНСС-приемники с компенсацией угла наклона, доступные на рынке геодезических приборов, использовали магнитометр для определения направления наклона. В этих приемниках используются такие же магнитометры, как и в обычных смартфонах, где они применяются, например, для отображения направления по электронному компасу, который опирается на измерения магнитометра и обеспечивает ориентацию полюса относительно магнитного севера [10, 11].

При использовании магнитометра для определения направления возникают проблемы:

- погрешности при использовании вблизи электромагнитных полей или ферромагнитных материалов, таких как металл или железобетон, что также может ограничить диапазон компенсации угла наклона [12];

- влияние магнитных возмущений, вызываемые черными металлами (например, автомобилями, зданиями из конструкционной стали) и электрическими токами (например, линиями электропередач, электроустановками), которые обычно присутствуют в условиях съемки в режиме RTK;

- необходимость частого выполнения калибровки, что отнимает много времени и снижает производительность.

Неточные и ненадежные показания угла наклона в ГНСС-приемнике могут привести к ошибкам определения местоположения до нескольких десятков сантиметров. Кроме того, диапазон компенсации наклона часто ограничен 15 градусами.

Чтобы избежать упомянутых выше проблем, специалисты компании Leica Geosystems разработали ГНСС-приемник Leica GS18 T с компенсацией наклона, который использует точные измерения инерциальной системы от микроэлектромеханических датчиков промышленного уровня, которые подходят для решения геодезических задач. Это изобретение для геодезического рынка основано на технологии, используемой в авиационной и морской навигации в течение многих лет [13].

Методы и материалы

Съемка и разбивка RTK-ровером происходит очень быстро. Однако постоянная необходимость контроля вертикальности вехи с установленной на ней антенной ГНСС-приемника замедляет работу геодезиста.

При использовании обычного ГНСС-приемника полученные координаты фазового центра антенны редуцируются вертикально вниз на величину высоты ее установки на вехе. Таким образом, конечнику вехи будут соответствовать точные координаты только при условии, что веха установлена точно по уровню и вертикали. Поэтому точность ГНСС-измерений во многом зависит от способности полевого оператора удерживать веху с антенной ГНСС приемника в строго вертикальном положении над каждой измеряемой точкой. Исходя из этого, геодезисты-полевики значительную часть своего рабочего времени тратят на тщательное позиционирование антенны и удержание ее в стабильно вертикальном положении.

В среднем, у геодезиста уходит 4 секунды на то, чтобы установить веху вертикально и приступить к съемке или разбивке. Если геодезист снимает по 900 пикетов в день, то на установку вехи в вертикальное положение при этом тратится целый час. Соответственно, если он использует свой приемник в течение 5 часов в день, то 1 час (т.е. 20 % времени) уходит на установку вехи вертикально.

Также недостатком обычных ГНСС-приемников является то, что по окончании сбора полевых данных не остается никаких записей о том, как полевик обращался с ровером, и находилась ли веха в строго вертикальном положении во время измерений.

Для максимального ускорения геодезических работ специалисты Leica Geosystems разработали ГНСС-приемник, компенсирующий угол наклона вехи, который не требует калибровки и может использоваться рядом с металлическими объектами – Leica GS18 T (рис. 1). Буква «Т» в названии приемника означает «tilt» (в переводе с английского – «наклон»).



Рис. 1. ГНСС-приемник Leica GS18 T RTK с контроллером Leica CS20

Leica GS18 T – это самообучаемый приемник с 555-канальной платой, поддерживающий GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS. Это обеспечивает более высокую доступность RTK-решения в сложных условиях приема спутникового сигнала и гарантирует продуктивное использование оборудования даже в городской и сильно залесенной местности [14]. Плата с 555 каналами и уникальная система обработки сигнала RTKplus, позволяет принимать в будущем новые доступные спутниковые сигналы, что делает ГНСС-приемник актуальным на много лет вперед.

Используя ГНСС-приемник GS18 T, геодезист может экономить свое время (до 1 часа в день) и работать на 20 % продуктивнее благодаря инерциальной системе компенсации наклона. Встроенная инерциальная система позволяет выполнять съемку и вынос точек в натуру, не выставляя веху вертикально по уровню.

Приемник измеряет угол наклона и направление этого наклона. При этом координаты фазового центра антенны редуцируются вдоль вехи к наконечнику на заданную длину вехи, что позволяет всегда получать его истинные измеренные координаты, вне зависимости от направления наклона вехи.

Используя компенсацию наклона, становятся доступны совершенно новые способы съемки и выноса в натуру. Например, при определении координат точек можно положить верху на плечо и вести высокоточную съемку в таком положении. Скорость съемки при этом существенно возрастает, так как геодезисту достаточно просто коснуться концом вехи, интересующего объекта и нажать кнопку «измерить». Для начала работы с инерциальной системой, достаточно получить фиксированное RTK-решение и просто пройти вехой с установленной на ней антенной по позиционируемым точкам.

Также, используя компенсацию наклона, геодезисту легче измерить объекты, которые невозможно было измерить обычными приемниками, например, угол здания, низкие проемы, козырьки, которые частично закрывают небосвод и т.д. (рис. 2) [15].



Рис. 2. Применение инерциальной системы для координирования углов здания в местах с частично закрытым небосводом

Кроме того, возможно выполнять измерение вблизи объектов с сильными магнитными помехами: вблизи трансформаторных подстанций, ЛЭП, металлических заборов или автомобилей.

Во встроенной программе «Координатная геометрия» [16], экспериментально рассчитано, что при измерении одной и той же точки при вертикальном положении вехи и при наклоне около 30 градусов погрешность определения координат составляет 1 см, что вполне приемлемо, учитывая точность получения координат в режиме реального времени и угол наклона вехи.

Приемник не имеет ограничений по углу наклона вехи и всегда готов к работе, т.к. не требует выполнения калибровки устройства, компенсирующего наклон. Но следует понимать, что верх антенны в любом случае должен видеть ГНСС-спутники для сохранения хорошей точности позиционирования, а также то, что при слишком большом угле наклона (свыше 30 градусов) может возникнуть дополнительная ошибка к точности определения координат в вертикальном положении.

ГНСС-приемник GS18 T работает с контроллерами и программным обеспечением Leica Captivate, позволяя переносить полевые работы из плоскости в трехмерное пространство (рис. 3).



Рис. 3. Интерфейс ПО Leica Captivate

С обычным приемником вынос точки состоит из ряда последовательных действий: остановка на месте, выравнивание вехи, а затем все это повторяется и для последующих точек.

При выносе точек в натуру ГНСС-приемником GS18 T, вся окружающая ситуация меняется на экране контроллера вместе с движением геодезиста, что очень удобно для быстрого ориентирования на объекте. Можно включить режим отображения 2D и просто идти по стрелке или использовать режим 3D, в котором пользователь видит свое местоположение в трехмерном пространстве на экране контроллера. Например, наклоняя верху вправо геодезист будет видеть, что веха наклоняется вправо и на экране контроллера.

Наконечнику вехи всегда соответствуют точные координаты вне зависимости от направления и наклона вехи. Это существенно сокращает время поиска искомой точки, так как не нужно одновременно выставлять приемник по уровню и при этом смотреть на экран выноса в натуру на полевом контроллере – наконечник вехи может найти искомую точку с первого раза.

Инерциальная система работает в движении и при остановке на одном месте если геодезист стоит на одном месте больше 30 секунд работа компенсатора прекращается. Для очередного запуска системы, достаточно просто пошевелить приемник. Для приемника GS18 T также доступна возможность работы с сантиметровой точностью без использования RTK поправок. Эта технология называется Leica SmartLink. Она основана на использовании данных геостационарных спутников.

В ПО Leica Captivate учитывается точность позиционирования ГНСС и точность компенсации наклона. Эти значения объединены в единое значение точности.

Значение угла наклона вехи для каждой измеренной точки можно посмотреть в полевом ПО или при импорте данных на компьютер в ПО Leica Infinity. Это гарантирует надежность измерений и позволяет получить полный отчет о качестве выполненных измерений приемником.

Также иногда полезно измерять точки обычным способом, устанавливая веху по уровню. Например, при необходимости соблюдения внутренних требований заказчика. Компенсатор можно отключить в настройках приемника (при измерении точек компенсатор будет иметь статус «отключен» на индикаторе приемника, и на иконке в меню полевого ПО). В таком случае, веху нужно устанавливать по уровню при выполнении измерений, как при использовании обычного ГНСС-приемника.

Заключение

ГНСС-приемники, в которых используется метод компенсации наклона, основанный на инерциальном блоке, отлично подойдут для повышения производительности и удобства высокоточного RTK-позиционирования. По сравнению с системами компенсации наклона, основанными на магнитометре, ГНСС-приемник Leica GS18 T обладает следующими преимуществами: он не нуждается в калибровке на месте проведения геодезических работ, невосприимчив к электромагнитным помехам и применим при больших углах наклона вехи. Использование компенсации наклона значительно повышает производительность и доступность RTK-позиционирования в стесненных условиях (где отсутствует возможность вертикальной установки ГНСС-вехи). Эти преимущества достигаются за счет применения инновационных технологий отслеживания спутниковых сигналов и интеграции ГНСС и инерциальной измерительной системы.

Основные преимущества ГНСС-приемника с инерциальной системой:

– используя компенсацию наклона, мгновенные измерения обеспечивают такой же уровень точности, как статические RTK-измерения, наряду с экономией времени;

– по сравнению с обычными RTK-измерениями с горизонтированием вехи, RTK измерения с компенсацией наклона значительно (до 20 %) повышают производительность и значительно улучшают характеристики позиционирования вблизи зданий, обеспечивая лучшую доступность и точность;

– на автостоянках, вблизи ЛЭП с магнитными помехами, компенсация наклона на основе инерциального блока дает более точные измеренные местоположения, чем метод, основанный на магнитометре;

– RTK-измерения, основанные на компенсации наклона с инерциальным блоком, применимы при больших углах наклона, превышающих 30 градусов. 3D точность позиционирования составляет примерно 2 см;

– благодаря трехмерной визуализации приемника в контроллере, геодезист может легко ориентироваться при проведении съемки, что повышает его производительность;

– информация об RTK-измерениях с компенсацией наклона является полностью отслеживаемой, что позволяет обеспечить высокое качество выполненных работ.

Обозначенные выше преимущества позволят быстро и качественно решать задачи различных сфер применения ГНСС-приемников [17], а также повысят качество геопространственных данных [18, 19].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jekeli, C. (2001) *Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications*. Walter de Gruyter, Berlin New York, 352 pp.

2. Titterton, D., Weston, J. L. (2004) *Strapdown Inertial Navigation Technology* (2nd ed.). IEE Radar, Sonar, Navigation, and Avionics Series, No. 17, Institution of Engineering and Technology, Stevenage Herts, 558 pp.

3. Groves, P. D. (2013) *Principles of GNSS, Inertial, and Multi-Sensor Integrated Navigation Systems* (2nd ed.). Artech House, Boston London, 800 pp.

4. Обиденко В. И. Определение пространства Российского государства – исторические, технологические и политические аспекты // *Геодезия и картография*. – 2015. – № 5. – С. 41–49.

5. Обиденко В. И. Определение метрических параметров территории Российской Федерации средствами геоинформационных систем // *Вестник СГУГиТ*. – 2018, Т. 23, № 2. – С. 18–32.

6. Горобцов С. Р., Обиденко В. И. Геодезические методы для создания единого геоинформационного пространства // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр.*, 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 173–183.

7. Карпик А. П. *Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий* : монография. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с.

8. Карпик А. П., Обиденко В. И. Формирование единого геопространства территорий для повышения качества геодезического обеспечения государственного кадастра недвижимости // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание* : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 3–11.

9. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Основные принципы формирования единого геоинформационного пространства территорий // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. научн. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. – С. 19–24.
10. Nichols, M. E., Talbot, N. C. (1996) Pole-tilt sensor for surveyor range pole. US Patent US5512905A.
11. Kurtovic, Z., Pagan, R. (2009) A multi mode active surveying pole. European Patent EP2040029A1.
12. Pedley, M. (2012) eCompass: Build and calibrate a tilt-compensating electronic compass. Circuit Cellar, 265:1-6.
13. Crassidis, J. L., Markley, F. L. (2003) Unscented filtering for spacecraft attitude estimation. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 26(4):536-542. doi:10.2514/2.5102
14. Сайт компании "ГЕКСАГОН ГЕОСИСТЕМС РУС" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geosystems.ru/>
15. Сайт компании Leica Geosystems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leica-geosystems.com/>
16. Техническое руководство Leica Captivate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gfk-leica.ru/files/catfiles/prog/captivate_user_guide-001-487.pdf
17. Шевчук С. О., Пономарев В. Н., Черемисина Е. С. Создание ГНСС-приемника для решения научных задач // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 36–43.
18. Карпик А. П. Системная связь устойчивого развития территорий с его геодезическим информационным обеспечением // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 53–59.
19. Обиденко В. И. Технология определения метрических параметров территории Российской Федерации по геопространственным данным // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 3–13.

© С. Р. Горобцов, 2020