Козлов В.В.

ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
Санкт-Петербург, Россия

doi: 10.18411/lj-31-07-2017-36

idsp 000001:lj-31-07-2017-36

Метод высокоточного абсолютного местоопределения в ГНСС precisepointpositioning (PPP)

Научный руководитель: Пащенко Иван Владимирович

На Рис. 1. представлена классификация основных методов определения местоположения в глобальных спутниковых навигационных системах (ГНСС)

Рис. 1. Классификация основных методов местоопределения в ГНСС

В относительных или дифференциальных методах координаты потребителя определяются относительно координат базового приемника,

расположенного на опорной станции. При относительном местопределении и использовании только измерений псевдодальности в режиме реального времени достигается точность около 2 м. [1]. Системы, реализующие данный режим, имеют название локальных дифференциальных систем (local differential systems, differential GNSS), а сам режим называется дифференциальным. Уточнение в этих системах достигается за счет использования потребителем локальных дифференциальных поправок к координатам либо измерениям псевдодальностей, передаваемых опорной станцией. Эта станция располагается в центре локальной зоны, размер которой характеризуется величиной 200 км [1]. В центре локальной зоны точность абсолютного местопределения составляет 0.5 м и менее, к границам локальной зоны точность постепенно понижается до точности стандартного местопределения. Под стандартным автономным режимом местопределения понимается режим определения абсолютных координат потребителя в реальном масштабе времени по широкополосным эфемеридам, сообщаемым навигационными спутниками ГНСС (режим StandAlone). Навигационный приемник при этом является полностью автономным и не требует для местопределения ничего сверх измерений псевдодальностей и сообщаемой навигационными спутниками эфемеридно-временной информации (ЭВИ). Под абсолютными координатами потребителя понимаются координаты, определяемые относительно центра Земли (в гринвичской подвижной системе координат ECEF, Earth-Centered-Earth-Fixed). Ошибка местопределения потребителя в данном режиме составляет несколько метров [1]. Основными достоинствами данного режима местопределения является оперативность (работа в реальном времени) и автономность. Режим RTK (RealTimeKinematic) основан на совместной обработке высокоточных псевдофазовых измерений приемника потребителя и базового навигационного приемника с разрешением их целочисленных неоднозначностей. Точность определения относительных координат приемника потребителя в этом режиме характеризуется ошибками порядка 1 см и менее [1]. При одночастотных измерениях базовый приемник не может быть удален от приемника потребителя более чем на 15 км, а при двухчастотных - более чем на 80 км. Эти ограничения являются серьезными недостатками режима относительных определений RTK. В отличие от режима локальной дифференциальной навигации, где передаются локальные дифференциальные поправки к координатам потребителя либо к измерениям псевдодальностей, в режиме широкозонной дифференциальной коррекции передаются глобальные

поправки к параметрам моделей движения навигационных спутников, параметры уточненных моделей смещения шкал времени навигационных спутников. Двухчастотные измерения сети наземных станций оперативно собираются в центре управления системой, где на их основе определяются вышеперечисленные глобальные дифференциальные поправки. Далее эти поправки ретранслируются через геостационарные спутники всем потребителям, находящимся в зоне, покрываемой станциями сети. Примерами систем широкозонной дифференциальной коррекции являются системы WAAS (Wide Area Augmentation System, США), EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service, Европа) и СДКМ (Система Дифференциальной Коррекции и Мониторинга, Россия). Указанные системы являются спутниковыми системами дифференциальной коррекции SBAS (Satellite-Based Augmentation System). Системы широкозонной дифференциальной коррекции обеспечивают точность местоопределения потребителя в абсолютном режиме около 0.5 м на территории, охваченной используемой сетью опорных станций. Нижняя часть рис. 1. иллюстрирует, что в последние годы граница между относительными и абсолютными методами местоопределения постепенно стирается. С повышением точности абсолютные методы местоопределения уже не являются автономными и требуют дополнительной информации в виде атмосферных коррекций, высокоточной ЭВИ, параметров вращения Земли и т.д., которые могут быть вычислены только по сети наземных станций. Высокоточное абсолютное местоопределение Precise Point Positioning (PPP) осуществляется при использовании высокоточной ЭВИ, компенсации ряда систематических смещений в измерениях и использовании точных, но неоднозначных псевдофазовых измерений. Одной из характерных особенностей местоопределения в режиме PPP является тот факт, что все необходимые для его реализации продукты сетевого решения ограничиваются высокоточными координатами спутников и поправками к показаниям часов спутников, которые и составляют необходимую ЭВИ. Точность абсолютных координат потребителя в режиме PPP и оперативность их получения зависит от точности ЭВИ, условий приема сигнала и математической модели используемых измерений, и может составлять от 1 см и менее [2].

Рис. 2. Схема PPP в режиме реального времени

Информацию о уточненных ЭВИ, поправок часов спутников в виде отдельных файлов формируют в международных сервисных центрах обработки, данных ГНСС наблюдений и предоставляют пользователям из различных стран через специализированные Интернет ресурсы. Одним из них является сервисный центр Международной службы ГНСС (International GNSS Service - IGS). Но в связи с большим объемом информации, получаемой и обрабатываемой этими центрами (более тысячи постоянно действующих базовых станций), возникает проблема, связанная с задержкой получения файлов с информацией и точностью, которую они обеспечивают[3].

Тип информ. продуктов	Средне-квадратическая погрешность	Задержка	Обновление информации	Интервал данных
Оперативные (прогнозируемые) Ultra-Rapid (predicted half)	эфemerиды ~5 см поправки часов ~3 нс	в режиме реального времени	в 03, 09, 15, 21 UTC	15 мин
Оперативные (уточнённые по наблюдениям) Ultra-Rapid (observed half)	эфemerиды ~3 см поправки часов ~150 пс	3 - 9 ч	в 03, 09, 15, 21 UTC	15 мин
Предварительные Rapid	эфemerиды ~2.5 см поправки часов ~75 пс	17 - 41 ч	в 17:00 UTC ежедневно	15 мин 5 мин
Окончательные Final	эфemerиды ~2.5 см поправки часов ~75 пс	12 - 18 дней	Каждый четверг	15 мин спутников: 30 с станций: 5 мин

Рис. 3. Характеристики ЭВИ
Международной ГНСС-службы (IGS)

IGS предоставляет пользователям информацию бесплатно, однако существуют и коммерческие сервисы, например, Trimble Center Point RTX, предлагающий данные для обработки методом PPP, в режиме реального времени. Файлы эфемерид и поправок к часам навигационных спутников могут быть (рис. 3.) [5]:предварительно рассчитанными, по которым возможна обработка результатов измерений методом PPP в режиме реального времени; быстрыми (Rapid), доступными через промежуток от нескольких часов до двух суток; окончательными (Final), доступными через 2 - 3 недели. Последние две категории используются только при постобработке и позволяют достичь точности определения местоположения в несколько сантиметров (в зависимости от условий наблюдений). В методе PPP отсутствует необходимость в установке базовой станции на точке с известными пространственными координатами, что делает этот использование метода очень привлекательным на труднодоступных территориях со слабо развитой опорной геодезической сетью. Программное обеспечение и уточненная ЭВИ доступна в открытом доступе, существование онлайн службы обработки данных PPP дает возможность полной автоматизации высокоточного позиционирования с помощью ГНСС. После оптимизации широкозонных систем функциональных дополнений космического базирования - SBAS (WAAS, MSAS, QZSS, СДКМ) для передачи высокоточной ЭВИ в режиме реального времени в соответствии с требованиями PPP, этот метод окажется доступным любому пользователю ГНСС практически в любой точке Земли бесплатно, без необходимости подключения к Интернет с единственным требованием - наличие двухчастотной аппаратуры[7].

1. Parkinson B.W., Spilker J.J. (Eds.). Global Positioning System: Theory and Applications. Volume I and II. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. 370 L'Enfant Promenade, SW, Washington, 1996.
2. Подкорытов А. Н. Высокоточное определение координат потребителя в абсолютном режиме в глобальных навигационных спутниковых системах с использованием разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений. Информационно-измерительные и управляющие системы. Радиотехника, Москва, Т.10, №10, 2012.
3. А. В. Виноградов А.В. Войтенко А.Ю. Жигулин Оценка точности метода Precise Point Positioning и возможности его применения при кадастровых работах Геопроби 2/2010.
4. <http://www.igs.org/products>
5. IGS Data & Products. - <http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>
6. Trimble CenterPoint RTX <http://www.trimble.com/positioning-services/centerpoint-rtx.aspx>
7. Vitaly Sernov GNSS GLONASS Augmentation System SDCM. Status and development //United Nations/Russian Federation Workshop on the Applications of Global Navigation Satellite Systems – 2015. <http://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2015/RussiaGNSS/Presentations/6.pdf>
8. Метод высокоточного позиционирования Precise Point Positioning (PPP): принцип, применение, перспективы <http://ustinov.fr/viewtopic.php?f=20&t=9020>