

GPS-ТРЕКЕРЫ И СИСТЕМЫ МЕСТОПОЛОЖЕНИЙ

Новиков А.В., Мозоль Н.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Сыс А.Д. – магистр техн. наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. Глобальная система позиционирования (GPS) – спутниковая технология для точного определения местоположения. Работает на принципе трилатерации, измеряя время прохождения радиосигнала от спутников к приемнику. Использует три сегмента: спутниковый, наземный и пользовательский. Высокоточные атомные часы и алгоритмы коррекции минимизируют ошибки, вызванные атмосферными помехами и релятивистскими эффектами. Развитие GPS улучшает навигацию, транспорт и научные исследования.

Ключевые слова: глобальная система позиционирования (GPS), спутниковая навигация, местоположение, радиосигнал, трилатерация, частоты L1 и L2, атомные часы, релятивистские эффекты, коррекция ошибок, точность координат.

Введение. Глобальная система позиционирования (GPS) – это спутниковая система определения местоположения. Эта технология, первоначально разработанная для навигации по Земле, с тех пор была адаптирована и разработана для внеземных применений, таких как определение местоположения на Луне. Система, состоящая из группировки космических аппаратов, расположенных в шести плоскостях орбиты, использует свойства сложно модулированного радиоволнового диапазона *UHF* (сверхвысоких частот), электромагнитного излучения, распространяющегося со скоростью света, для определения местоположения приемника GPS. При использовании этого частотного диапазона достигаются минимальные атмосферные помехи; с указанными сигналами, несущими точные временные данные, необходимые для расчета местоположения.

По инициативе Министерства обороны США в 1973 году физики Уильям Гайер и Джордж Вайффенбах заложили основы технологии GPS, используя эффект Доплера для точного отслеживания местоположения спутника. Первая спутниковая навигационная система с функцией определения времени и дальности полета (NAVSTAR) была запущена в 1978 году для использования правительством США.

GPS-спутники передают сигналы на двух частотах: L1 (1575,42 МГц) и L2 (1227,60 МГц). Частота L1 содержит два кода – точный (ограниченный в использовании) и грубый (общедоступный). Частота L2 содержит зашифрованный код для военных. Эти псевдослучайные коды позволяют приемникам точно определять местоположение, отслеживая несколько спутников одновременно. Код должен генерироваться на спутнике и приемнике одновременно.

Проект GPS состоит из трех ключевых подсистем: космического сегмента (спутники), сегмента управления (наземные операции) и пользовательского сегмента (приемники), которые применяются в различных областях – от транспорта, современного сельского хозяйства до спасательных операций.

Основная часть. При определении местоположения в системе GPS используются несколько основных систем расчета, одной из которых является спутниковая трилатерация. Трилатерация – это метод, используемый GPS для определения местоположения приемника, для этого требуется прямая видимость как минимум трех спутников. Одно измерение укажет положение на поверхности сферы. При наличии второго спутника измерения пересекаются в круге, а третье измерение дает две возможные точки. Расстояние до спутников определяется по времени прохождения радиосигнала. Для этого необходимо знать момент отправки сигнала. Четвертый спутник позволяет точно определить

местоположение, поэтому в каждой плоскости он имеет решающее значение для коррекции времени.

Вычисление расстояния от каждого известного местоположения спутника до неизвестного приемника отражает его точное местоположение, как показано на рисунке 1.

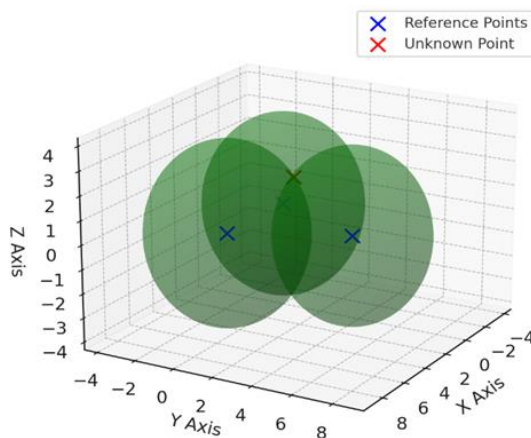


Рисунок 1 – Трилатерация, при которой время, преобразуется в пространственный радиус

Этот метод имеет значительное сходство с методом триангуляции, при котором для определения местоположения используется угловое смещение, в соответствии с рисунком 2, однако есть несколько причин, по которым предпочтение отдается трилатерации.

Прежде всего, трилатерация менее подвержена ошибкам на больших расстояниях, поскольку небольшие угловые погрешности при триангуляции, вызванные ошибочными расчетами или атмосферной рефракцией, могут привести к значительным неточностям в определении местоположения.

Расстояния, рассчитанные с помощью трилатерации, зависят от точного знания времени, необходимого для прохождения сигнала от спутника до приемника. Это требует точного знания времени передачи сигнала, а для этого необходимо учитывать сложности, связанные с релятивистскими эффектами.

При определении координат важно учитывать ошибки, такие как задержки в ионосфере и тропосфере. Скорость сигнала в вакууме постоянна, но при прохождении через атмосферу снижается, что приводит к ошибкам. Современные GPS-приемники используют алгоритмы коррекции этих задержек.

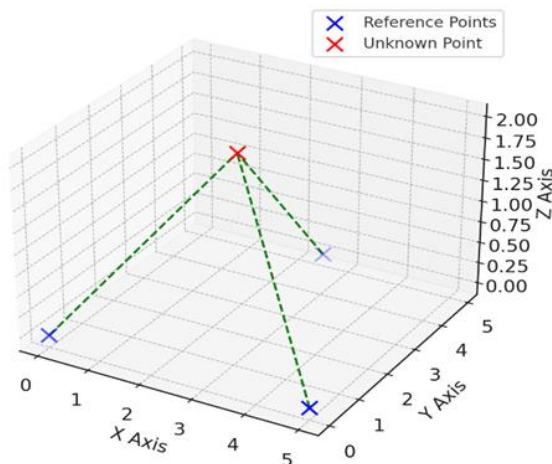


Рисунок 2 – Триангуляция, где известные положения спутников и тригонометрические законы применяются для вычисления положения неизвестной точки

Учитывая важность точного хронометража в технологии GPS, используются высокоточные атомные часы. Эти часы обычно используют определение известной и постоянной частоты микроволнового излучения, испускаемого при падении уровня энергии электронов в изотопе цезия-133, в качестве индикатора того, сколько времени прошло. Это намного точнее, чем сравнительный механический механизм, используемый в традиционных хронометражных устройствах, который теряет всего около секунды за период в пятьдесят миллионов лет. Ошибки в работе атомных часов все же возможны, но они незначительны и отслеживаются станциями мониторинга.

Однако без коррекции показания GPS-хронометра все равно будут смещаться вперед, как указывалось ранее, что приведет к ошибкам в расчетах местоположения на десятки метров.

Чтобы предотвратить это, часы на спутниках GPS предварительно настраиваются перед запуском и работают немного медленнее, чем наземные часы. А также GPS-приемники и сегмент управления системой постоянно отслеживают показания спутниковых часов, при этом любые незначительные отклонения корректируются четвертым из четырех плоских спутников, как упоминалось ранее. **Заключение.** Развитие технологии GPS значительно продвинуло вперед не только системы общественного транспорта, но и методы определения местоположения в целом. Переход от традиционной триангуляции к более точному методу трилатерации позволил добиться значительного прогресса в отслеживании местоположения на больших расстояниях.

Со временем надежность, точность и удобство использования GPS только возросли. Новые направления исследований, особенно в области изучения слоев атмосферы Земли, их нелинейного поведения и потенциального взаимодействия с сигналами GPS, могут привести к дальнейшим разработкам.

Список литературы

1. Bichard, B. Langley *The GPS Observables* / B. Langley Bichard. – University of New Brunswick : GPS World, Vol. 4, №4, 1993. – 55 – 69 pp.
2. S Bize et al, (2005), *Cold Atom Clocks and Applications*, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, Vol 38, №9, DOI: 10.1088/0953-4075/38/9/002
3. Kouba, J. *Improved Relativistic Transformations in GPS*. GPS Solutions Vol 8 / J. Kouba. – New York : J. Kouba, 2004. – 170–180 pp.

UDC 629.056.8

GPS TRACKERS AND LOCATION SYSTEMS

Novikov A.V., Mozol N.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Sys A.D. – Master of technical sciences, senior lecturer

Annotation. The Global Positioning System (GPS) is a satellite technology for precise location determination. It operates on the principle of trilateration, measuring the transit time of a radio signal from satellites to a receiver. It uses three segments: satellite, terrestrial and user. High-precision atomic clocks and correction algorithms minimize errors caused by atmospheric interference and relativistic effects. The development of GPS improves navigation, transportation, and scientific research.

Keywords: global positioning system (GPS), satellite navigation, location, radio signal, trilateration, L1 and L2 frequencies, atomic clocks, relativistic effects, error correction, coordinate accuracy.