

УДК 621.39

GPS И ГЛОНАСС

Чернышев А.А., Барановский Д.О.

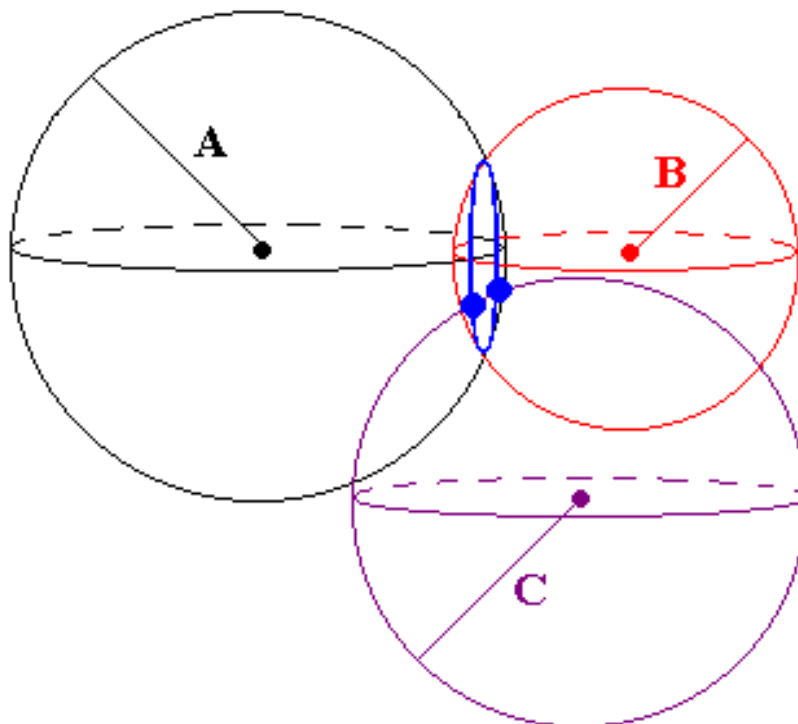
Научный руководитель - к.т.н., доцент Ежов В.Д.

GPS Краткая история

Система GPS разработана Министерством обороны США. Работы над этим проектом, именуемым NAVSTAR (NAVigation System with Timing and Ranging) - навигационная система определения времени и дальности), начались еще в 70-х годах. Первый спутник системы был выведен на орбиту в 1974 г, а последний из 24 необходимых для покрытия всей Земли только в 1993 г. Первоначально GPS предназначалась для эксплуатации военными США (навигация, наведение ракет и пр.), однако с 1983 года, когда был сбит самолет Корейских авиалиний, случайно вторгшийся на территорию СССР, использование GPS было разрешено и для гражданских. При этом, точность передаваемого сигнала загроублялась с помощью специального алгоритма, но в 2000 году и это ограничение было снято. Министерство обороны США продолжает обслуживать и модернизировать систему GPS. Именно эта полная зависимость работоспособности системы от правительства одной страны (например, во время первой войны в Персидском заливе, гражданский сектор GPS был отключён) побудило другие страны развивать альтернативные системы навигации (русская - ГЛОНАСС, европейская - GALILEO, китайская - Beidou).

Теоретически для определения местоположения необходимы данные с трех спутников. Попробуем разобраться, как происходит этот процесс. Допустим, нам известна величина расстояния от одного спутника до приемника. Зная ее, мы можем нарисовать окружность вокруг спутника, на краю которой и будет находиться наш приемник. Добавим данные со второго спутника. Таким образом, мы сузили сектор поиска до пересечения двух окружностей. Остается прибавить информацию о третьем спутнике.

Таким образом, мы получаем точные координаты приемника, который находится на пересечении трех окружностей. В данном описании схема сильно упрощена за счет изображения в двумерной плоскости. В действительности все происходит в трехмерном пространстве, но принцип вычислений используется тот же.



Расстояние до спутников рассчитывается простейшей формулой — умножением скорости света (скорость распространения радиоволн) на время прохождения сигнала от спутника до приемника. Полученная величина и будет искомым расстоянием. При этом для вычисления времени необходима точнейшая синхронизация часов космического аппарата с часами принимающего устройства, так как разница даже в 0.0000003 секунды впоследствии вызывает ошибку равную 100 метрам. Для этого на каждом спутнике установлено четверо точнейших атомных часов. Стоит отметить, что одни такие часы стоят порядка 100000\$. Но даже они могут содержать отклонения от эталонного времени. Что же говорить об обычных кварцевых часах, установленных непосредственно в принимающих устройствах, тут возможность погрешности в разы больше. Именно поэтому для точного определения координат нужно не три, а четыре спутника. Последний как раз и призван нивелировать временные ошибки первых трех.

Важно знать, что GPS приемник является лишь приемником сигналов от спутника, который ни при каких условиях не может передавать данные на спутник. Поэтому он только лишь принимает сигнал, подобно радиоприемнику.

Особенности работы GPS-приемников

Для определения координат GPS-приемнику необходимы данные с орбитальных спутников. Однако их получение и обработка требуют некоторого времени — от нескольких секунд до десятка минут. Попробуем разобраться, от чего зависит это время. В первую очередь, от наличия в приемнике альманаха и эфемерид. Альманах — это данные, передаваемые спутником и содержащие информацию о параметрах орбит всех спутников. С его помощью можно лишь приблизительно вычислить их местоположение. Альманах постоянно обновляется, так как передается каждым спутником, входящим в систему GPS. Время его актуальности составляет 2-3 месяца. Это связано с тем, что в работу спутников ежедневно вносятся корректировки, и по прошествии такого длительного времени погрешность будет слишком велика. Эфемериды, в отличие от альманаха, содержат более точные данные о местоположении спутников, но время их действия составляет не более 4-6 часов. От наличия этих двух типов данных и зависит время старта приемника.

Существует три типа стартов — «Холодный», «Теплый» и «Горячий».

«Холодный старт» — альманах и эфемериды неизвестны, в современных устройствах занимает несколько минут. «Теплый старт» — альманах известен, а эфемериды нет, длится не более минуты. «Горячий старт» — известны и альманах, и эфемериды, занимает несколько секунд. Определить, какой из стартов используется в данный момент, очень просто: если вы включаете приемник первый раз за 3 месяца, то это будет «холодный старт», если с момента последнего использования устройства прошло более 6 часов, то это будет «теплый старт», если менее 4 часов, то «горячий». Стоит отметить, что указанные нами данные о приблизительном времени стартов характерны исключительно для современных устройств, оснащенных наиболее популярным сегодня чипсетом SIRF StarIII. Если ваш приемник оснащен другим чипом, то это время может отличаться в несколько раз, причем как в худшую сторону, так и в лучшую.

Не стоит забывать и об ошибках, которые могут возникнуть в реальных условиях. В первую очередь на точность определения влияет рельеф местности. Если вы находитесь в зоне плотной застройки, то вероятность ошибки возрастает в разы, так как на полезный сигнал нередко накладывается отраженный, снижая, таким образом, точность позиционирования. Также немалое влияние оказывают погодные явления, например, дождь или снег. Не стоит забывать и про такие банальные источники помех, как листва деревьев, бытовые радиоприборы, кузов автомобиля и даже человеческое тело. Как раз все эти факторы и вынуждают использовать не четыре спутника, которых, в теории, достаточно для определения координат, а намного больше, дополнительно применяя при этом сложнейшие алгоритмы расчетов устранения ошибок, вызванных помехами.

ГЛОНАСС

Официально начало работ по созданию ГЛОНАСС было положено в декабре 1976 года специальным постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР. Данный проект являлся продолжением развития отечественной навигационной спутниковой системы, начатой программой «Циклон».

4 апреля 1991 года в составе ГЛОНАСС в двух орбитальных плоскостях оказалось одновременно 12 работоспособных спутников системы и 24 сентября 1993 года система была официально принята в эксплуатацию Министерством обороны России. В этом же году США вывели на орбиту последний 24-й спутник

В дальнейшем вследствие недостаточного финансирования, а также из-за малого срока службы, число работающих спутников сократилось к 2001 году до 6.

В августе 2001 года была принята федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система», согласно которой полное покрытие территории России планировалось уже в начале 2008 года, а глобальных масштабов система достигла бы к началу 2010 года

В 2002 году был осуществлён переход на обновлённую версию геоцентрической системы координат ПЗ-90 — ПЗ-90.02.

С 2004 года запускаются новые КА Глонасс - М, которые транслируют два гражданских сигнала на частотах L1 и L2.

В 2007 году проведена 1-я фаза модернизации наземного сегмента, вследствие чего увеличилась точность определения координат. Во 2-й фазе модернизации наземного сегмента на 7 пунктах наземного комплекса управления устанавливается новая измерительная система с высокими точностными характеристиками. В результате этого к концу 2010 года увеличится точность расчёта эфемерид и ухода бортовых часов, что приведёт к повышению точности навигационных определений.

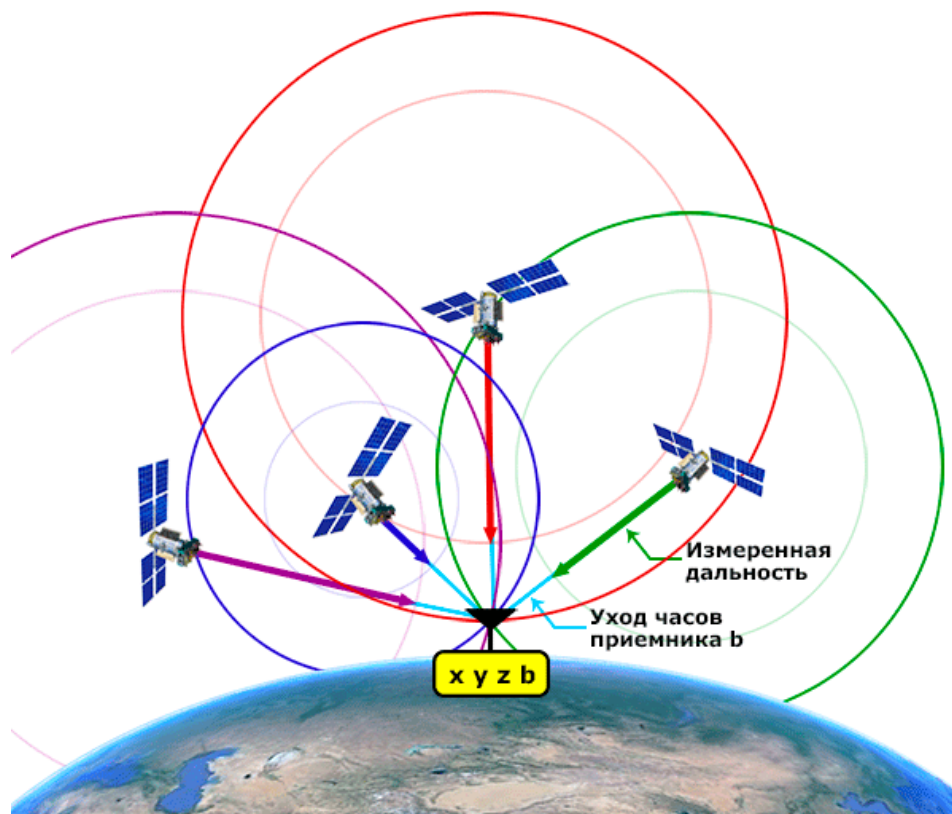
29 января 2009 года было объявлено, что первым городом страны, где общественный транспорт в массовом порядке будет оснащён системой спутникового мониторинга на базе ГЛОНАСС, станет Сочи. На тот момент ГЛОНАСС-оборудование производства компании «М2М телематика» было установлено на 250 сочинских автобусах

7 декабря 2015 года было объявлено о завершении создания системы ГЛОНАСС. Готовая система была направлена на заключительные испытания Минобороны РФ.

Основой системы являются 24 спутника, движущихся над поверхностью Земли в трёх орбитальных плоскостях с наклоном орбитальных плоскостей $64,8^\circ$ и высотой орбит 19400 км. Принцип измерения аналогичен американской системе навигации NAVSTAR GPS. Основное отличие от системы GPS в том, что спутники ГЛОНАСС в своём орбитальном движении не имеют резонанса (синхронности) с вращением Земли, что обеспечивает им большую стабильность. Таким образом, группировка КА ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования. Тем не менее, срок службы спутников ГЛОНАСС заметно короче.

В настоящее время развитием проекта ГЛОНАСС занимается Роскосмос и ОАО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем». Для обеспечения коммерциализации и массового внедрения технологий ГЛОНАСС в России и за рубежом постановлением Правительства РФ в июле 2009 года был создан «Федеральный сетевой оператор в сфере навигационной деятельности», функции которого были возложены на ОАО «Навигационно-информационные системы». В 2012 году федеральным сетевым оператором в сфере навигационной деятельности определено Некоммерческое Партнёрство «Содействие развитию и использованию навигационных технологий»

Принцип действия



Современная спутниковая навигация основывается на использовании принципа беззапросных дальномерных измерений между навигационными спутниками и потребителем. Это означает, что потребителю передается в составе навигационного сигнала информация о координатах спутников. Одновременно (синхронно) производятся измерения дальностей до навигационных спутников. Способ измерений дальностей основывается на вычислении временных задержек принимаемого сигнала от спутника по сравнению с сигналом, генерируемым аппаратурой потребителя.

На рисунке приведена схема определений местоположения потребителя с координатами x , y , z на основе измерений дальности до четырех навигационных спутников. Цветными яркими линиями показаны окружности, в центре которых расположены спутники. Радиусы окружностей соответствуют истинным дальностям, т.е. истинным расстояниям между спутниками и потребителем. Цветные неяркие линии – это окружности с радиусами, соответствующими измеренным дальностям, которые отличаются от истинных и поэтому называются псевдодальностями. Истинная дальность отличается от псевдодальности на величину, равную произведению скорости света на уход часов b , т.е. величину смещения часов потребителя по отношению к системному времени. На рисунке показан случай, когда уход часов потребителя больше нуля – то есть часы потребителя опережают системное время, поэтому измеренные псевдодальности меньше истинных дальностей.

Космический сегмент

Космический сегмент, состоящий из навигационных спутников, представляет собой совокупность источников радионавигационных сигналов, передающих одновременно значительный объем служебной информации. Основные функции каждого спутника – формирование и излучение радиосигналов, необходимых для навигационных определений потребителей и контроля бортовых систем спутника.

Наземный сегмент

В состав наземного сегмента входят космодром, командно-измерительный комплекс (КИК) и центр управления. Космодром обеспечивает вывод спутников на требуемые орбиты при первоначальном развертывании навигационной системы, а также периодическое восполнение спутников по мере их выхода из строя или выработки ресурса. Главными

объектами космодрома являются техническая позиция и стартовый комплекс. Техническая позиция обеспечивает прием, хранение и сборку ракет-носителей и спутников, их испытания, заправку и состыковку. В число задач стартового комплекса входят: доставка носителя с навигационным спутником на стартовую площадку, установка на пусковую систему, предполетные испытания, заправка носителя, наведение и пуск.

Командно-измерительный комплекс служит для снабжения навигационных спутников служебной информацией, необходимой для проведения навигационных сеансов, а также для контроля и управления ими как космическими аппаратами.

Центр управления, связанный информационными и управляющими радиопередачами с космодромом и командно-измерительным комплексом, координирует функционирование всех элементов спутниковой навигационной системы.

Пользовательский сегмент

В пользовательский сегмент входит аппаратура потребителей. Она предназначена для приема сигналов от навигационных спутников, измерения навигационных параметров и обработки измерений. Для решения навигационных задач в аппаратуре потребителя предусматривается специализированный встроенный компьютер. Разнообразие существующей аппаратуры потребителей обеспечивает потребности наземных, морских, авиационных и космических (в пределах ближнего космоса) потребителей.

Минимальное количество видимых спутников для определения местоположения пользователя

В идеальном варианте, когда измерения производятся точно и показания часов спутников и потребителя совпадают для определения положения потребителя в пространстве достаточно произвести измерения до трех навигационных спутников.

В действительности показания часов, которые входят в состав навигационной аппаратуры потребителя, отличаются от показаний часов на борту навигационных спутников. Тогда для решения навигационной задачи к неизвестным ранее параметрам (три координаты потребителя) следует добавить еще один - смещение между часами потребителя и системным временем. Отсюда следует, что в общем случае для решения навигационной задачи потребитель должен «видеть», как минимум, четыре навигационных спутника.

Впрочем, на практике все не так гладко. Каждый из нас отлично знает, что точность навигации далека от идеальной – она может ошибаться и на 10, и на 100 м. И на это есть свои причины.

Во-первых, геометрия спутников далека от совершенства. Под геометрией в данном случае понимается расположение объектов по отношению друг к другу. Даже если приемное устройство «видит» все четыре спутника, они могут располагаться в одном направлении (например, на востоке), в итоге погрешность может составлять до 150 метров из-за «однообразности» сигнала.

Во-вторых, при пасмурной погоде или в черте города с высотными зданиями, сигнал может идти не напрямую, а отражаться от ряда объектов.

В-третьих, существует искусственное ограничение точности в целях безопасности, которое стало своеобразной платой за то, что военные поделились своими технологиями.

В-четвертых, точность данных также напрямую зависит от качества прибора мониторинга

Альтернативные спутниковые системы навигации

EGNOS (англ. European Geostationary Navigation Overlay Service) — европейская геостационарная служба навигационного покрытия. EGNOS предназначена для улучшения работы систем GPS, ГЛОНАСС и Galileo на территории Европы. Зона действия EGNOS охватывает всю Европу, север Африки и небольшую европейскую часть России. Система состоит из сети наземных станций, главной станции, которая аккумулирует информацию от спутников GPS, ГЛОНАСС и Galileo, и геостационарных спутников EGNOS, через которые эта информация транслируется на GPS-приёмники, поддерживающие приём дифференцированных поправок.

ГАЛИЛЕО (Galileo) — совместный проект спутниковой системы навигации Европейского союза и Европейского космического агентства, является частью транспортного проекта Трансевропейские сети (англ. Trans-European Networks). Система предназначена для решения геодезических и навигационных задач. В последнее время всё больше производителей GNSS-оборудования интегрируют в свои спутниковые приемники и антенны возможность принимать и обрабатывать сигналы со спутников Галилео, этому способствует достигнутая договорённость о совместимости и взаимодополнении с системой NAVSTAR GPS третьего поколения. Финансирование проекта будет осуществляться в том числе за счёт продажи лицензий производителям приёмников.

Помимо стран Европейского Союза, в проекте участвуют: Китай, Израиль, Южная Корея, Украина. Кроме того, ведутся переговоры с представителями Аргентины, Австралии, Бразилии, Чили, Индии, Малайзии

БЭЙДОУ Китайская спутниковая система навигации. Планируется, что космический сегмент навигационной спутниковой системы БЭЙДОУ будет состоять из 5 спутников на геостационарной орбите, 3 спутников на геосинхронной орбите (с наклоном 55°) и 27 спутников на средней околоземной орбите (~21 500 км).

Система была запущена в коммерческую эксплуатацию 27 декабря 2012 как региональная система позиционирования, при этом спутниковая группировка составляла 16 спутников. Планируется, что на полную мощность система выйдет к 2020 году. Китайские представители также отметили, что ещё предстоит урегулировать вопросы, касающиеся частотных диапазонов, с российской, американской и европейской сторонами, которые также владеют спутниковыми навигационными группировками

Вывод

В настоящее время точность определения координат системой ГЛОНАСС несколько отстаёт от аналогичных показателей для GPS. На 2012 года ошибки навигационных определений ГЛОНАСС по долготе и широте составляли 3—6 м (в зависимости от точки приёма). В то же время ошибки GPS составляли 2—4 м.

При использовании обеих навигационных систем происходит существенный прирост точности. Европейский проект EGNOS, использующий сигналы обеих систем, даёт точность определения координат на территории Европы на уровне 1,5—3 метров.

Литература

- <http://sts-51.ru/index.php/navigatsiya/materials-about/73-fort-news3>
- <https://science.dirty.ru/statia-posviashchena-gps-v-nei-na-paltsakh-obiasniaetsia-printsip-raboty-etoj-tekhnologii-423228/>
- <https://www.glonass-iac.ru/guide/navfaq.php>
- [https://ru.wikipedia.org/wiki/Галилео_\(спутниковая_система_навигации\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Галилео_(спутниковая_система_навигации))
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бэйдоу>