



ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВА-
ТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕК-
ТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра
«Геодезии, кадастрового учета»

Спутниковые системы и технологии позиционирования

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия»
Специализации «Инженерная геодезия»
очной и заочной форм обучения

Астрахань, 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Спутниковые системы и технологии позиционирования

Электронное учебно-методическое пособие
для студентов специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия»,
специализации «Инженерная геодезия»
очной и заочной форм обучения

© С. П. Стрелков, К. Г. Кондрашин,
Е. А. Константинова З.В. Никифорова, 2020
© ГАОУ АО ВО «Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет», 2020

ISBN 978-5-93026-096-0

Об издании: [1](#), [2](#)

УДК 528.7(086.76)
ББК 26.11я73
С84

Рекомендован к изданию редакционно-издательским советом
Астраханского государственного
архитектурно-строительного университета

Авторы:

Сергей Петрович Стрелков
кандидат биологических наук, доцент
Кирилл Геннадьевич Кондрашин
Младший научный сотрудник
Евгения Александровна Константинова
ассистент кафедры
Зоя Викторовна Никифорова
ассистент кафедры

Рецензенты:

*Председатель комитета по управлению муниципальным имуществом
МО «Приволжский район» Астраханской области
К. Ш. Давлетгильдеев;*
*Директор муниципального бюджетного учреждения
МО «Приволжский район» «Приволжское БТИ»
Р.И. Усманов*

Стрелков, С. П.

Спутниковые системы и технологии позиционирования [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / С. П. Стрелков, К. Г. Кондрашин, Е. А. Константинова, З. В. Никифорова. – Электрон. текстовые данные (3,25 Мб). – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – 1 опт. диск (CD-R).

Рассмотрены принципы работы глобальной навигационной спутниковой сети и особенности ее применения. Изложены концепции распространения сигналов спутниковых систем. Описаны возможные источники ошибок и их устранение, изложены принципы проектирования геодезических сетей, построенных с помощью спутниковых технологий. Большой акцент сделан на применении спутниковых методов в решении геодезических задач.

Курс рассчитан на студентов, занимающихся вопросами использовании ГЛОНАСС/GPS и других глобальных навигационных спутниковых систем в геодезии и картографии, земельного кадастра. Ориентирован на формирование у слушателей таких профессиональных компетенций, как способность к полевым и камеральным работам с использованием спутникового оборудования, обеспечению координирования готовность осуществлять контроль полученных спутниковых измерений.

ISBN 978-5-93026-096-0

*Минимальные системные требования
для воспроизведения электронного издания:*

Процессор с тактовой частотой 1,5 ГГц и выше, Windows 7 SP1/8, 8.1/10, 1 ГБ ОЗУ, 380 МБ свободного пространства на жестком диске; программа для чтения файлов формата PDF, наличие CD/DVD-привода.

© С. П. Стрелков, К.Г. Кондрашин,
Е. А. Константинова, З. В. Никифорова
© ГАОУ АО ВО «Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет»

Издание публикуется в авторской редакции

Техническая обработка и подготовка материалов:

А.В. Гранкиной, С.С. Кострыкиной

Подготовлено к изданию 18.02.2020 г.

Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18
Тел./факс: (8512) 49-42-15
E-mail: iic@ausu.ru

Заказ № 4324

Тираж 200 экз. (первый завод – 10 экз.)

Оттиражировано в Астраханской цифровой типографии
(ИП Сорокин Роман Васильевич)
414040, г. Астрахань, пл. К. Маркса, 33, 5-й этаж, 1-й офис
Тел./факс: (8512) 54-00-11
E-mail: RomanSorokin@list.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. ГЛОБАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	7
1.1. Понятия спутникового позиционирования	7
1.2. Позиционирование глобальной навигационной спутниковой системы.....	10
1.3. Применение глобальной навигационной спутниковой системы	11
ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ.....	15
2.1. Спутники	15
2.2. Распространение сигнала спутников	19
2.3. Прием сигнала	20
2.4. Вычисление местоположения.....	23
ГЛАВА 3. СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ	29
3.1. Система GPS	29
3.2. ГЛОНАСС.....	33
3.3. BeiDou	36
3.4. Галилей.....	37
3.5. Прочие системы.....	39
ГЛАВА 4. ИСТОЧНИКИ ОШИБОК ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ	41
4.1. Источник ошибки.....	41
ГЛАВА 5. УСТРАНЕНИЕ ОШИБОК	45
5.1. Мульти-созвездие, Мульти-Частота	46
5.2. Измерения глобальной навигационной спутниковой системы.....	47
5.3. Системы усиления на основе спутников	48
5.4. Кинематический в реальном масштабе времени (RTK)	51
5.5. Точное позиционирование точки (PPP).....	53
5.6. Постобработка данных глобальной навигационной спутниковой системы.....	54
ГЛАВА 6. ГЛОБАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ +INS	58
6.1. Системы GNSS+INS	58
6.2. Отказ глобальной навигационной спутниковой системы	61
6.3. Применение и оборудование глобальной навигационной спутниковой системы.....	64
ГЛАВА 7. ОБОРУДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ	75
7.1. Оборудование глобальной навигационной спутниковой системы....	75
7.2. Приемник GNSS RTK фирмы STONEX.....	77
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	88

ВВЕДЕНИЕ

Сигналы, передаваемые спутниками GPS, исключительно сложные. Система GPS предназначена работать с однонаправленными измерениями (только прием); обслуживать неограниченное количество, как военных, так и гражданских пользователей; обеспечивать точные, однозначные измерения дальностей в реальном времени; обеспечивать точные измерения доплеровского сдвига; обеспечивать точные измерения фазы несущей; обеспечивать передачу сообщения; обеспечивать исправление ионосферной задержки; допускать одновременные измерения от многих спутников; иметь защиту от интерференции; и иметь допустимую многопутность.

Несмотря на то, что изначально проект GPS был направлен на военные цели, сегодня GPS широко используются в гражданских целях. GPS-приёмники продают во многих магазинах, торгующих электроникой, их встраивают в мобильные телефоны, смартфоны, КПК и т. д.

Потребителям также предлагаются различные устройства и программные продукты, позволяющие видеть своё местонахождение на электронной карте; имеющие возможность прокладывать маршруты с учётом дорожных знаков, разрешённых поворотов и даже пробок; искать на карте конкретные дома и улицы, достопримечательности, кафе, больницы, автозаправки и прочие объекты инфраструктуры.

ГЛАВА 1. ГЛОБАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

1.1. Понятия спутникового позиционирования

Основные понятия спутникового позиционирования очень легко понять.

Устроим следующую демонстрацию. Прикрепим картонные фигурки трех спутников к стенам и потолку аудитории, как показано на рисунке 1. К каждому «спутнику» прикрепляем кусок веревки. Отмечаем место на полу подвижной точкой, затем протягиваем струны вниз и фиксируем длину, где они все достигли точки на полу. Теперь струны представляли собой расстояния от точки до отдельных спутников. Записываем местоположение точки и убираем ее с пола.

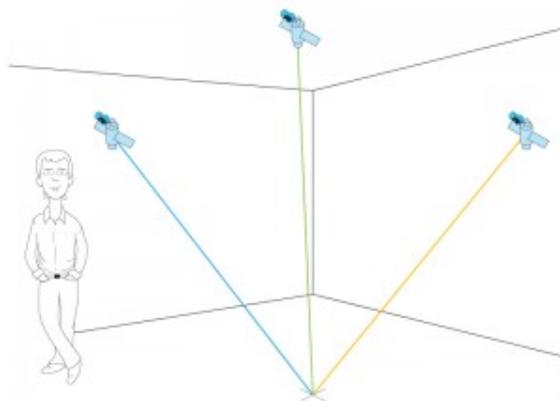


Рис. 1. Демонстрация расположения спутников

Теперь студенты должны используя струны, определить местоположение точки. Для этого студенты натягивают струны вниз, пока концы струн не сойдутся в одной точке на полу. Они отмечают эту точку подвижной точкой и сравнили ее с ранее отмеченным положением. Эта простая демонстрация показала, что, если мы знаем расположение трех спутников и наше расстояние от них, мы можем определить свое местоположение.

Определение местоположения точки на земной поверхности конечно сложнее ввиду некоторых факторов:

- спутники движутся;
- сигналы со спутников очень слабы; проходя через слои атмосферы, возникают помехи радиосигналов;
- по стоимостным причинам, пользовательское оборудование не так сложно, как оборудование в спутниках.

1.2. Глобальная навигационная спутниковая система

Все мы знакомы с термином «глобальная система позиционирования» (GPS) и слышали термин «глобальная навигационная спутниковая система» (ГНСС), который используется для описания набора спутниковых систем позиционирования, которые в настоящее время работают или планируются.

GPS (Соединенные Штаты): GPS была первой системой ГНСС. GPS был запущен в конце 1970-х годов Министерством обороны Соединенных Штатов. Он использует созвездие из 27 спутников и обеспечивает глобальное покрытие.

ГЛОНАСС (Россия): ГЛОНАСС эксплуатируется Правительством Российской Федерации. Созвездие ГЛОНАСС состоит из 24 спутников и обеспечивает глобальное покрытие.

Galileo (Европейский Союз): Galileo – это гражданская система ГНСС, эксплуатируемая Европейским агентством глобальных навигационных спутниковых систем (GSA). Galileo будет использовать 27 спутников, причем первые спутники полного оперативного потенциала (FOC) будут запущены в 2014 году. Полную группировку планируется развернуть к 2020 году.

BeiDou (Китай): BeiDou – китайская навигационная спутниковая система. Система будет состоять из 35 спутников. Региональная служба заработала в декабре 2012 года. BeiDou будет расширен, чтобы обеспечить глобальный охват к концу 2020 года.

ИРНС (Индия): индийская региональная навигационная спутниковая система (ИРНС) обеспечивает обслуживание Индии и ее окрестностей. Полную группировку из семи спутников развернули в 2015 году.

QZSS (Япония): QZSS – это региональная навигационная спутниковая система, обеспечивающая обслуживание Японии и Азиатско-океанского региона. Систему QZSS развернули в 2018 году.

Строение глобальной навигационной спутниковой системы

Внедрение спутниковых систем ГНСС действительно изменило ситуацию. Спутниковые системы ГНСС состоят из трех основных компонентов или «сегментов»: космического сегмента, сегмента управления и сегмента пользователей. Они проиллюстрированы на рисунке 2.



Рис. 2. Космические сегменты



Рис. 3. Спутники на орбите

Космический сегмент состоит из спутников ГНСС, находящихся на орбите около 20 000 км над землей. Каждая ГНСС имеет свое собственное «созвездие» спутников, расположенное на орбитах для обеспечения требуемого покрытия, как показано на рис. 3.

Каждый спутник в созвездии ГНСС передает сигнал, который идентифицирует его и обеспечивает его время, орбиту и статус. Для иллюстрации рассмотрим следующую ситуацию.

Вы находитесь в центре города и звоните своему другу, но его нет дома, поэтому вы оставляете ему сообщение:

Это Николай [личность]. Время – 13: 35 [время]. Я нахожусь на северо-западном углу Студенческого сквера и Стадиона и направляюсь к университету [месту орбите]. Я в порядке, но мне немного хочется пить [статус].

Ваш друг возвращается через пару минут, слушает ваше сообщение и «обрабатывает» его, затем перезванивает вам и предлагает вам придумать немного другой способ; фактически, друг дал вам «коррекцию орбиты».

Управляющий сегмент

Контрольный сегмент включает наземную сеть основных-станций управления, станций загрузки данных и станций мониторинга; в случае GPS, две основные-станции управления (одна основная и одна резервная), четыре станции загрузки данных и 16 станций мониторинга, расположенных по всему миру.

В каждой системе ГНСС главная станция управления регулирует параметры орбиты спутников и бортовые высокоточные часы, когда это необходимо для поддержания точности.

Станции мониторинга, обычно устанавливаемые на обширной географической территории, отслеживают сигналы и состояние спутников и передают эту информацию на главную станцию управления. Главная станция управления анализирует сигналы, а затем передает орбитальные и временные поправки на спутники через станции загрузки данных.

Пользовательский сегмент

Сегмент пользователей состоит из оборудования, которое обрабатывает полученные сигналы со спутников ГНСС и использует их для получения и применения информации о местоположении и времени. Оборудование варьируется от смартфонов и портативных приемников, используемых туристами, до сложных, специализированных приемников, используемых для высокоточных съемок и картографических приложений.

1.2. Позиционирование глобальной навигационной спутниковой системы Сигналы

Радиосигналы ГНСС довольно сложны. Их частоты составляют около 1,5 ГГц (гигагерц) – 1,5 миллиард циклов в секунду. ГНСС работает на частотах, которые выше, чем FM-радио, но ниже, чем микроволновая печь. К тому времени, когда сигналы ГНСС достигают Земли, они очень и очень слабы.

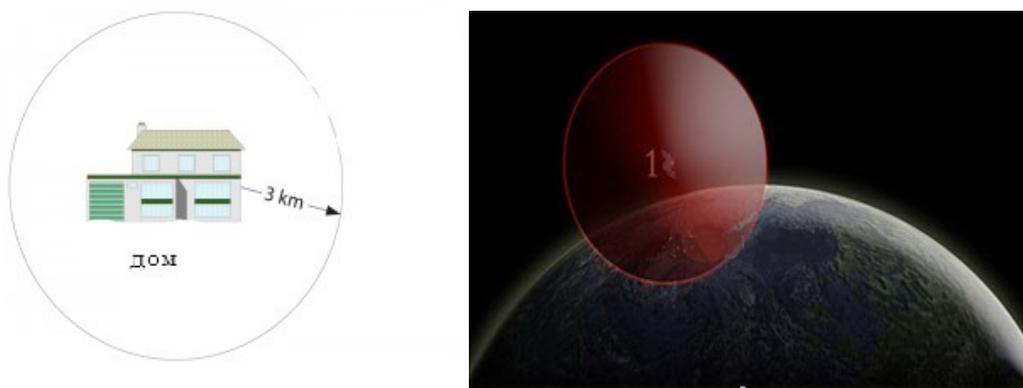


Рис. 4. Позиционирование ГНСС

Позиционирование ГНСС основано на процессе, называемом «трилатерация». Проще говоря, если вы не знаете своих координат, но знаете расстояние от трех известных точек, вы можете разделить свое местоположение на три части.

Допустим, вы находитесь в 3 км от дома человека А. Все, что вы знаете, это то, что вы находитесь на круге в 3 км от дома человека а, как показано на рисунке 4.

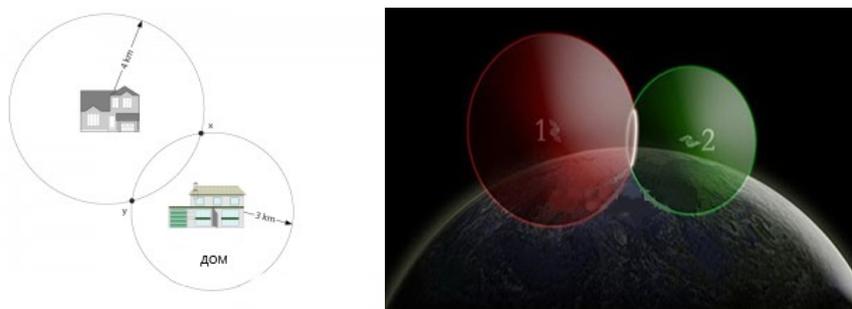


Рис. 5. Позиционирование ГНСС 2 спутника

Но если вы также знаете, что находитесь в 4 км от дома человека В, у вас будет гораздо лучшее представление о том, где вы находитесь, так как только два места (x и y) существуют на обоих кругах, как показано на рисунке 5.

С третьим расстоянием вы можете находиться только в одном физическом месте. Если вы находитесь в 6 км от дома человека, вы должны быть в положении x, так как это единственное место, где встречаются все три круга (расстояния). Место пересечения трёх предполагаемых сфер и будет местом нашего позиционирования (рис. 6).

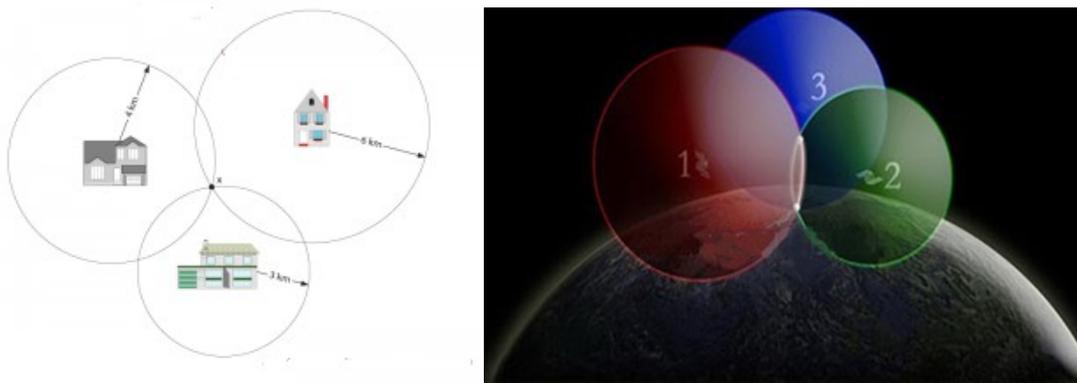


Рис. 6. Позиционирование ГНСС 3 спутника.

Для устранения неверного решения и одновременного уточнения места позиционирования потребуется четвертый спутник. Наша задача решена (рис. 7).

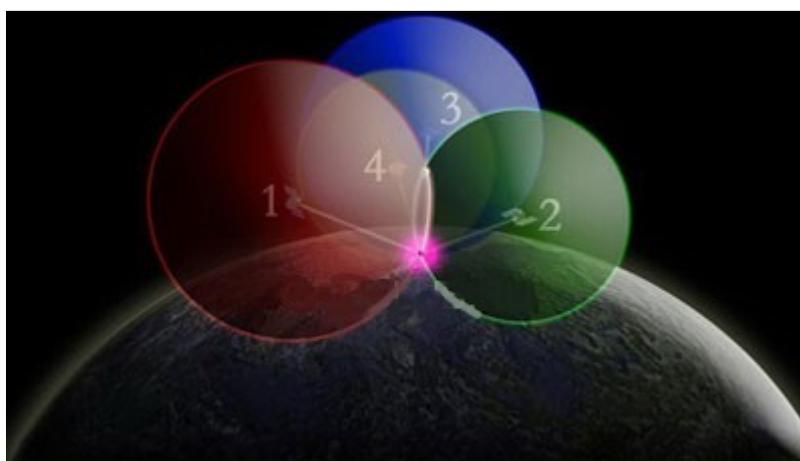


Рис. 7. Позиционирование ГНСС 4 спутника

1.3. Применение глобальной навигационной спутниковой системы

Первые невоенные применения технологии ГНСС были связаны с геодезией и картографированием. Сегодня ГНСС используется для коммерческого применения в сельском хозяйстве, транспорте, беспилотных транспортных средствах, управлении машинами, морской навигации и других отраслях промышленности, где эффективность может быть получена за счет применения точной, постоянно доступной информации о местоположении и

времени. ГНСС также используется в широком спектре потребительских применений, включая навигацию транспортных средств, мобильную связь, развлечения и легкую атлетику. По мере того как технология ГНСС совершенствуется и становится менее дорогостоящей, все больше и больше приложений будут задумываться и разрабатываться.

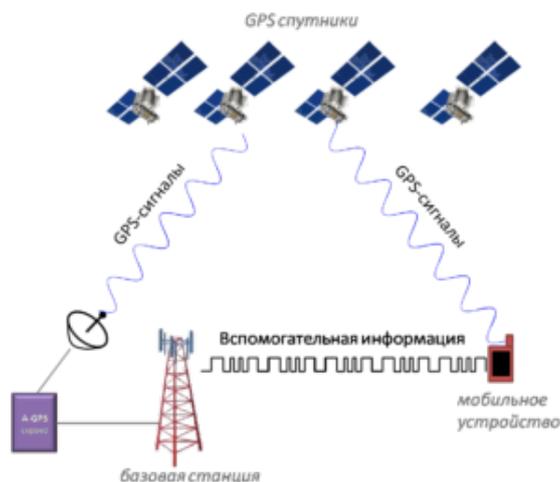


Рис. 8. Применение ГНСС

В дополнение к положению, приемники ГНСС могут обеспечить потребителей с очень точным временем, путем «синхронизировать» их местные часы с высокоточными часами на спутниках. Это позволило использовать такие технологии и приложения, как синхронизация электросетей,отовых систем, Интернета и финансовых сетей.

Пользовательское оборудование

Основными компонентами пользовательского сегмента ГНСС являются антенны и приемники (рис. 8). В зависимости от области применения антенны и приемники могут быть физически разделены или объединены в одну сборку.

Антенны

Антенны ГНСС принимают радиосигналы, которые передаются спутниками ГНСС, и передают эти сигналы приемникам. Антенны ГНСС доступны в ряде форм, размеров и представлений. Антенна выбирается на основе приложения. В то время как большая антенна может быть подходящей для базовой станции, легкая, низкопрофильная аэродинамическая антенна может быть более подходящей для самолетов или беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).



Рис. 9. Выборка антенн ГНСС

Приемники

Приемники обрабатывают спутниковые сигналы, восстановленные антенной, чтобы рассчитать положение и время. Приемники могут быть предназначены для использования сигналов от одного ГНСС-созвездия или от нескольких ГНСС-созвездий. Приемники доступны во многих форм-факторах и конфигурациях для удовлетворения требований различных приложений ГНСС (рис. 10).



Рис. 10. Приемники ГНСС

Увеличение

Позиционирование на основе автономного сервиса ГНСС является точным с точностью до нескольких метров. Точность автономных ГНСС и количество доступных спутников могут быть недостаточными для удовлетворения потребностей некоторых пользователей.

Были разработаны методы и оборудование для повышения точности и доступности информации ГНСС о местоположении и времени.

Выводы

1. *Спутники* ГНСС вращаются вокруг Земли. Спутники знают свои эфемериды орбит (параметры, определяющие их орбиту) и время очень, очень точно. Наземные станции управления при необходимости корректируют эфемериды и время спутников.

2. *Распространение.* Спутники ГНСС регулярно транслируют свои эфемериды и время, а также их статус. Радиосигналы ГНСС проходят через слои атмосферы к пользовательскому оборудованию.

3. *Прием.* Пользовательское оборудование ГНСС принимает сигналы от нескольких спутников ГНСС, затем для каждого спутника восстанавливает информацию, которая была передана, и определяет время распространения, время, которое требуется сигналам для перемещения от спутника к приемнику.

4. *Вычисление.* Пользовательское оборудование ГНСС использует восстановленную информацию для вычисления времени и положения.

5. *Применение.* Пользовательское оборудование ГНСС обеспечивает вычисленное положение и время для конечного пользователя приложения, например, навигации, геодезии или картографирования.

В следующих разделах мы рассмотрим каждый из вышеперечисленных шагов более подробно.

ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

2.1. Спутники

Существует несколько созвездий спутников ГНСС, вращающихся вокруг Земли. Созвездие – это просто упорядоченная группировка спутников, обычно 20–30, на орбитах, которые были разработаны для обеспечения желаемого охвата, например, регионального или глобального.



Рис. 11. Корпус блочного IIR GPS-спутника

Спутники ГНСС вращаются значительно выше атмосферы, примерно в 20 000 км над поверхностью земли. Они движутся очень быстро, несколько километров в секунду.

Спутники ГНСС не так малы, как вы могли бы подумать. Последнее поколение спутников GPS (блок IIF) весит более 1400 кг, что немного больше веса Volkswagen Beetle. Корпус этих спутников составляет 2,5 м х 2,0 м х 2,2 м. На рисунке 11 показана картина корпуса блочного IIR GPS-спутника, чтобы дать представление о том, насколько они велики.

В относительном вакууме космоса траектории движения спутников очень стабильны и предсказуемы. Как уже упоминалось, спутники ГНСС очень точно знают свое время и эфемериды орбит. Если вы спросите GPS-спутник о времени, он не скажет вам восемь тридцать. Он скажет вам 8:31.39875921.

Самое последнее поколение спутников GPS использует часы рубидия, которые точны до не позднее ± 5 частей в 10^{11} . Эти часы синхронизируются с более совершенными наземными цезиевыми часами. Вам нужно было бы смотреть на один из этих цезиевых часов в течение более чем 100 000 лет, чтобы увидеть, как он набирает или теряет секунду. Для сравнения, если у вас есть кварцевые часы, он, вероятно, будет иметь точность ± 5 частей в 10^6 и потеряет около секунды каждые два дня.

Кстати, если бы все приемники ГНСС нуждались в рубидиевом стандарте, жизнеспособность ГНСС быстро рухнула бы.

Почему время так важно в системах ГНСС? Это связано с тем, что время, необходимое сигналу ГНСС для перемещения от спутников к приемникам, используется для определения расстояний (диапазонов) до спутников. Точность необходима, потому что радиоволны распространяются со скоростью света. За одну микросекунду (миллионную долю секунды) свет проходит 300 м. за наносекунду (миллиардную долю секунды) свет проходит 30 см. Небольшие ошибки во времени могут привести к большим ошибкам в положении.

GPS был первым ГНСС-созвездием, которое было запущено. Также была запущена и работает Российское созвездие ГЛОНАСС. Преимуществом для конечных пользователей наличия доступа к нескольким созвездиям является избыточность и доступность. Если одна из систем выходит из строя по какой-либо причине, приемники ГНСС, если они оборудованы для этого, могут принимать и использовать сигналы со спутников в других системах. Сбой системы происходит не часто, но приятно знать, что если это произошло, ваш приемник все еще может работать.

Тем не менее, доступ к нескольким созвездиям имеет особое преимущество там, где прямой обзор на некоторые из спутников затруднен, как это часто бывает в городских или слоистых районах.

Спутниковая орбита

Спутники ГНСС вращаются значительно выше земной атмосферы. Спутники GPS и ГЛОНАСС выходят на орбиту на высотах, близких к 20 000 км. Спутники BeiDou и Galileo вращаются немного выше: около 21 500 км для BeiDou и 23 000 км для Galileo. Орбиты ГНСС, которые являются более или менее круговыми, а также высокостабильными и предсказуемыми, попадают в категорию МЕО для средней околоземной орбиты.

Существует не так уж много сопротивления на 20 000 км, но гравитационные эффекты и давление солнечной радиации действительно влияют на орбиты ГНСС немного, и орбиты должны быть иногда скорректированы. В то время как его орбита корректируется, статус спутника ГНСС изменяется на «вне службы», поэтому пользовательское оборудование знает, что не следует использовать затронутые сигналы.

Спутниковый сигнал

Спутниковые сигналы ГНСС являются сложными. Описание этих сигналов требует не менее сложных слов, таких как псевдослучайность, корреляция и множественный доступ с кодовым разделением каналов (CDMA). Чтобы объяснить эти концепции ГНСС, давайте сначала обсудим спутниковые сигналы GPS.

В первую очередь, GPS был разработан в качестве системы позиционирования для Министерства обороны США. Для обеспечения высокой точности информации о местоположении для военных применений в систему было разработано много сложностей, чтобы сделать ее безопасной и непроницаемой для помех и помех. Хотя военный и гражданский компоненты GPS являются отдельными, некоторые из технологий, используемых в военном компоненте, были применены к гражданскому компоненту.

С тех пор как в декабре 1993 года он достиг первоначального оперативного потенциала, GPS стал доступен гражданским пользователям, которые предъявляют различные требования к наличию услуг, точности позиционирования и стоимости.

Частотные планы (планы, описывающие частоту, амплитуду и ширину сигналов) для каждой системы ГНСС немного отличаются. Однако для иллюстрации концепции ГНСС мы кратко опишем частотную и сигнальную схему, используемую GPS (рис. 12). Концептуально это не сильно отличается от частотного плана для кабельных или широкоэмиттерных телевизионных каналов.

Спутники GPS передают информацию на частотах L1, L2 и L5 (рис. 12). Вы можете спросить «как все спутники GPS могут передавать на одной и той же частоте?»

GPS работает так, как он это делает из-за схемы передачи, которую он использует, которая называется CDMA.

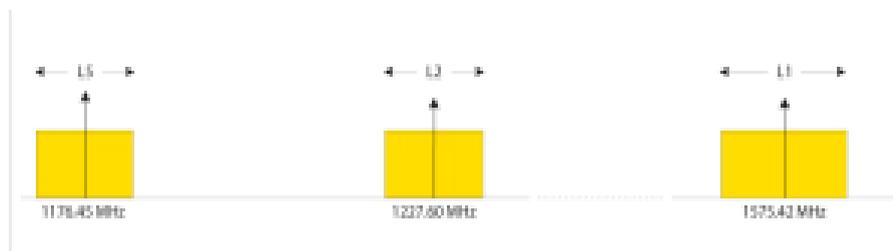


Рис. 12. Частотная и сигнальная схема, используемая GPS

CDMA – это форма распространенного спектра. Спутниковые сигналы GPS, хотя они находятся на той же частоте, модулируются уникальной псевдослучайной цифровой последовательностью или кодом. Каждый спутник использует свой псевдослучайный код. Псевдослучайность означает, что сигнал только кажется случайным; на самом деле, он фактически повторяется через определенный период времени. Приемники знают псевдослучайный код для каждого спутника. Это позволяет приемникам коррелировать (синхронизировать) с сигналом CDMA для конкретного спутника. Сигналы CDMA находятся на очень низком уровне, но благодаря этой корреляции кода приемник способен восстанавливать сигналы и информацию, которую они содержат.

GPS работает в полосе частот, называемой L-полосой, частью радиочастотного спектра между 1 и 2 ГГц. L-полоса была выбрана по нескольким причинам.

Упрощение конструкции антенны. Если бы частота была намного выше, пользовательские антенны, возможно, должны были быть немного сложнее.

Ионосферная задержка более значительна на более низких частотах. Далее в этой лекции мы подробнее поговорим об ионосферной задержке на этапе 2 – распространение.

Кроме как через вакуум, скорость света ниже на более низких частотах, как видно из разделения цветов в свете призмой. Вы, возможно, думали, что скорость света была постоянной на уровне 299 792 458 метров в секунду. На самом деле в вакууме она составляет 299 792 458 метров в секунду, но через воздух или любую другую среду она меньше.

Схема кодирования требует высокой пропускной способности, которая была доступна не в каждой полосе частот.

Полоса частот была выбрана для минимизации влияния погоды на распространение сигнала GPS.

L1 передает навигационное сообщение, грубый код приема C/A (свободно доступный для общественности) и зашифрованный точный код(P), называемый кодом P (Y) (ограниченный доступ). Навигационное сообщение – это сообщение с низкой скоростью передачи битов, содержащее следующую информацию:

1) GPS дата и время.

2) состояние спутника и его здоровье. Если спутник испытывает проблемы или его орбита корректируется, он не будет использоваться. Когда это произойдет, спутник передаст сообщение о выходе из строя.

3) данные спутниковой эфемериды, что позволяет приемнику рассчитать положение спутника. Эта информация является точной для многих, многих десятичных знаков. Приемники могут точно определить, где находился спутник, когда он передавал свое время.

4) альманах, который содержит информацию и статус для всех спутников GPS, поэтому приемники знают, какие спутники доступны для отслеживания. При запуске приемник восстановит этот "альманах". "Альманах состоит из грубой Орбитальной и статусной информации для каждого спутника в созвездии.



Рис. 13. Навигационное сообщение

Код P(Y) предназначен для использования в военных целях. Он обеспечивает лучшее подавление помех, чем код C/A, что делает военный GPS

более надежным, чем гражданский GPS. Частота L2 передает код P(Y), а на более новых спутниках GPS она также передает код C/A (называемый L2C), обеспечивая второй общедоступный код для гражданских пользователей. Хотя информация в коде P(Y) доступна не всем, умные люди придумали способы использования носителя L2 и кода, не зная, как он кодируется.

Хотя схема передачи GPS является сложной, она была выбрана по многим веским причинам:

Приемники GPS могут восстановить очень слабые сигналы, используя очень маленькие антенны. Это держит цену приемника низким.

Многочастотная работа позволяет обеспечить ионосферную компенсацию, поскольку ионосферные задержки изменяются с частотой. Система GPS устойчива к помехам и помехам.

Безопасность. Сигналы, доступные и используемые военными приложениями, не доступны гражданским лицам. Другие системы ГНСС концептуально похожи на GPS, но есть и различия. Мы предоставим дополнительную информацию об этих различиях в лекции 3.

Ошибки спутника

Ошибки спутников включают эфемеридные и тактовые ошибки. Эти ошибки спутников очень и очень малы, но имейте в виду, что за одну наносекунду свет проходит 30 сантиметров.

Продолжительность жизни спутника

Спутники ГНСС не могут существовать вечно. Иногда они постепенно вытесняются новыми моделями, которые имеют новые сигналы или улучшенное хранение времени. Иногда спутники ГНСС выходят из строя и, если они не могут быть восстановлены, навсегда удаляются из эксплуатации.

Спутниковые поправки

Земные станции непрерывно контролируют спутники и регулярно корректируют свою информацию о времени и орбите, чтобы поддерживать эту транслируемую информацию в высокой степени точной. Если орбита спутника выходит за пределы рабочих пределов, он может быть выведен из эксплуатации и скорректирован с помощью малых ракетных ускорителей.

2.2. Распространение сигнала спутников

Сигналы ГНСС проходят через околорадиометрическое пространство, затем через различные слои атмосферы к земле.

Чтобы получить точное положение и время, нам нужно знать длину прямого пути от спутника до пользовательского оборудования, который мы называем «диапазоном» до спутника. Радиоволны не распространяются по прямой траектории. Свет движется по прямой только в вакууме или через совершенно однородную среду. Подобно тому, как соломинка, по-

видимому, «согнута» в стакане воды, радиосигналы со спутника изгибаются, проходя через атмосферу Земли. Этот «изгиб» увеличивает время, необходимое сигналу для перемещения от спутника к приемнику. Расстояние до спутника вычисляется путем умножения времени распространения (которое, как вы помните, является временем, за которое сигналы перемещаются от спутника к приемнику) на скорость света. Ошибки во времени распространения увеличивают или уменьшают вычисленный диапазон до спутника. Кстати, поскольку вычисленный диапазон содержит ошибки и не совсем равен фактическому диапазону, мы называем его «псевдодиапазоном».

Слой атмосферы, который больше всего влияет на передачу сигналов GPS (и других ГНСС), – это ионосфера, слой от 70 до 1000 км над поверхностью земли. Ультрафиолетовые лучи солнца ионизируют молекулы газа в этом слое, высвобождая свободные электроны. Эти электроны влияют на распространение электромагнитных волн, в том числе на передачу спутниковых сигналов GPS. Ионосферные задержки зависят от частоты, поэтому при вычислении диапазона, используя как L1, так и L2, эффект ионосферы может быть практически устранен приемником.

Другим слоем атмосферы, влияющим на передачу сигналов GPS, является тропосфера – самый нижний слой атмосферы Земли. Толщина тропосферы изменяется примерно на 17 км в средних широтах, до 20 км ближе к экватору и тоньше на полюсах. Тропосферная задержка является функцией местной температуры, давления и относительной влажности. L1 и L2 имеют одинаковую задержку, поэтому эффект тропосферной задержки не может быть устранен таким же образом, как ионосферная задержка. Однако можно смоделировать тропосферу, а затем спрогнозировать и компенсировать большую часть задержки.

Некоторая часть энергии сигнала, передаваемого спутником, отражается на пути к приемнику. Это явление называют «многолучевым распространением». Эти отраженные сигналы задерживаются от прямого сигнала и, если они достаточно сильны, могут мешать желаемому сигналу. Были разработаны методы, при которых приемник учитывает только самые ранние поступающие сигналы и игнорирует многолучевые сигналы, поступающие позже. В первые дни существования GPS большинство ошибок было вызвано ионосферными и тропосферными задержками, однако в настоящее время все больше внимания уделяется многолучевым эффектам в интересах постоянного улучшения характеристик ГНСС.

2.3. Прием сигнала

Как мы уже отмечали, приемникам для определения местоположения требуется не менее четырех спутников. Использование большего числа спутников, если они имеются, позволит улучшить позиционное решение; однако способность приемника использовать дополнительные спутники может быть ограничена его вычислительной мощностью. Способ, которым

приемник использует дополнительные диапазоны, как правило, является интеллектуальной собственностью производителя.

В зависимости от реализации пользовательское оборудование может восстанавливать сигналы от нескольких спутников в нескольких созвездиях ГНСС.

Для определения фиксации (положения) и времени приемники ГНСС должны иметь возможность отслеживать не менее четырех спутников. Это означает, что между антенной приемника и четырьмя спутниками должна быть прямая видимость.

Приемники различаются по тому, какое созвездие или созвездия они отслеживают, и сколько спутников они отслеживают одновременно.

Для каждого отслеживаемого спутника приемник определяет время распространения сигнала. Он может сделать это из-за псевдослучайной природы сигналов. Для иллюстрации см. рис. 14, на котором показана передача псевдослучайного кода, ряда нулей и единиц. Поскольку приемник знает псевдослучайный код для каждого спутника, он может определить время, когда он получил код от конкретного спутника. Таким образом, он может определить время распространения.

Важность выбора антенны

Антенна ведет себя как пространственный, так и частотный фильтр, поэтому выбор правильной антенны ГНСС имеет решающее значение для оптимизации производительности. Антенна должна соответствовать возможностям и техническим характеристикам приемника, а также соответствовать размерам, весу, экологическим и механическим характеристикам для предполагаемого применения.

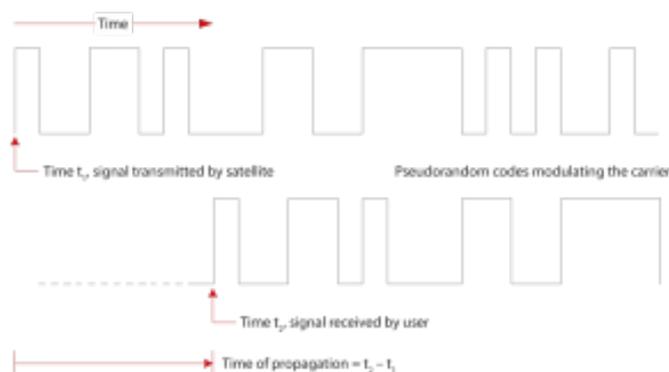


Рис. 14. Передача псевдослучайного кода, ряда нулей и единиц

Факторы, которые следует учитывать при выборе антенны ГНСС, включают в себя:

1. Созвездие и сигналы. Каждое созвездие ГНСС имеет свои собственные частоты сигнала и ширины полосы частот. Антенна должна охватывать частоты сигналов, передаваемых созвездием, и пропускную способность, поддерживаемую приемником ГНСС.

2. Усиление антенны. Коэффициент усиления является ключевым индикатором производительности антенны ГНСС. Коэффициент усиления можно определить, как относительную меру способности антенны направлять или концентрировать радиочастотную энергию в определенном направлении или в определенной схеме. Требуется минимальное усиление для достижения минимального отношения несущей к мощности шума (C/No) для отслеживания спутников ГНСС. Коэффициент усиления антенны непосредственно связан с общим C/No навигационных приемников ГНСС. Следовательно, коэффициент усиления антенны помогает определить отслеживающую способность системы.

3. Усиление элемента. Коэффициент усиления элемента определяет, насколько эффективен антенный элемент при приеме сигналов. В любой сигнальной цепи вы только так хороши, как самое слабое звено, поэтому антенный элемент с низким коэффициентом усиления элемента может быть компенсирован повышенным коэффициентом усиления малошумящего усилителя. Однако отношение сигнал-шум или C/No ухудшается.

4. Ширина луча антенны и крен увеличения. Откат коэффициента усиления является фактором ширины луча и определяет, насколько изменяется коэффициент усиления по углу возвышения антенны. С точки зрения антенны, спутники поднимаются от горизонта к Зениту и падают обратно на горизонт. Изменение коэффициента усиления между Зенитом (непосредственно над головой) и горизонтом известно как откат усиления. Различные технологии антенны имеют различные характеристики крена-увеличения.

5. Стабильность фазового центра. Фазовый центр антенны – это точка, в которой собираются сигналы, передаваемые со спутников. Когда приемник сообщает о фиксации местоположения, это местоположение по существу является фазовым центром антенны.

Электрический фазовый центр любой антенны будет меняться в зависимости от положения передающего сигнала, который она принимает, на целых несколько миллиметров. Когда спутники ГНСС перемещаются по небу, электрический фазовый центр принимаемого сигнала обычно перемещается вместе с положением спутника, если антенна не была тщательно спроектирована для минимизации смещения фазового Центра (PCO) и изменения фазового Центра (PCV). PCO, по отношению к контрольной точке антенны (ARP), разница между механически центром вращения антенны и электрическим положением центра участка. PCO также зависит от частоты, что означает, что для каждой частоты сигнала может быть разное смещение. PCV определяет, насколько фазовый центр перемещается относительно углов наклона спутника.

Многие пользователи могут принимать точность менее метра, поэтому эти небольшие изменения фазового центра вызывают незначительное количество ошибок положения. Но если вы требуете высокой точности, то как приемники реального времени кинематические (RTK) которые

могут достигнуть точности положения 2–4 см, немного миллиметров ошибки центра участка могут перевести к ошибке 10–15% в сообщенном положении. Для применений обзора RTK, геодезические антенны ранга предлагают главное представление PCO/PCV.

6. Приложение. Антенна должна соответствовать эксплуатационным, экологическим, механическим и эксплуатационным требованиям предполагаемого применения. Например, антенны ГНСС, используемые в авиации, в идеале должны быть сертифицированы TSO/FAA и быть достаточно прочными для работы с экстремальными температурами и профилями вибрации. Антенны обзорного ровера должны быть в состоянии выдержать грубое обращение со стороны геодезистов, включая падение полюса.

2.4. Вычисление местоположения

Если бы мы знали точное положение трех спутников и точный радиус действия каждого из них, мы могли бы геометрически определить наше местоположение. Мы предположили, что нам нужны диапазоны до четырех спутников, чтобы определить положение. В этом разделе мы объясним, почему это так, и как на самом деле работает позиционирование ГНСС.

Для каждого отслеживаемого спутника приемник вычисляет, сколько времени потребовалось спутниковому сигналу, чтобы достичь его, следующим образом:

Время распространения = Сигнал времени достиг приемника – Сигнал времени левого спутника

Умножение этого времени распространения на скорость света дает расстояние до спутника.

Для каждого отслеживаемого спутника приемник теперь знает, где находился спутник в момент передачи (поскольку спутник транслирует свои эфемериды орбиты), и он определил расстояние до спутника, когда он был там. Используя трилатерацию, метод геометрического определения положения объекта, аналогично триангуляции, приемник вычисляет его положение.

Чтобы помочь нам понять трилатерацию, мы представим технику в двух измерениях. Приемник вычисляет свой диапазон до спутника А. Как мы уже упоминали, он делает это, определяя количество времени, которое потребовалось для сигнала со спутника а, чтобы прибыть к приемнику, и умножая это время на скорость света. Спутник А сообщал свое местоположение (определяемое по эфемеридам орбиты спутника и времени) приемнику, поэтому приемник знает, что он находится где-то на окружности с радиусом, равным дальности, и центрирован на местоположении спутника А (рис. 15). В трехмерном пространстве мы будем показывать диапазоны в виде сфер, а не кругов.

Приемник также определяет свой диапазон до второго спутника, спутника В. Теперь приемник знает, что он находится на пересечении двух кругов, либо в положении 1, либо в положении 2 (рис. 20).

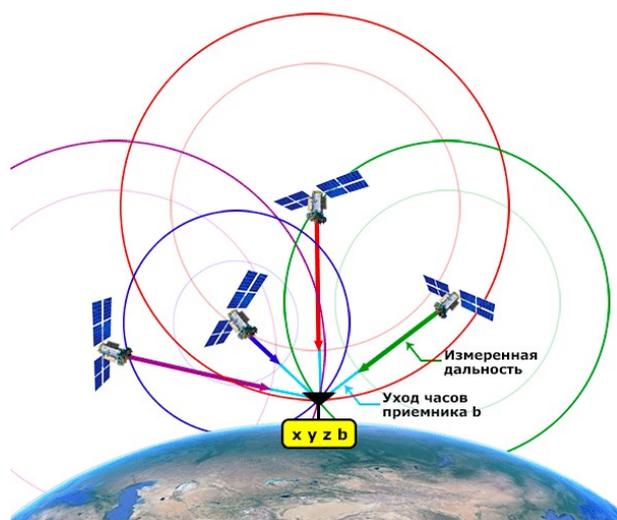


Рис. 15. Центрирование на местоположении спутников точки A.

Возможно, у вас возникнет соблазн сделать вывод, что для определения вашего местоположения в позиции 1 или позиции 2 необходимо установить диапазон до третьего спутника. Но одна из позиций чаще всего может быть исключена как неосуществимая, потому что, например, она находится в космосе или в центре Земли. Возможно, вы также захотите расширить нашу иллюстрацию до трех измерений и предположить, что для позиционирования необходимы только три диапазона.

Но, как мы уже говорили ранее, необходимы четыре диапазона. А почему это так?

Оказывается, что приемные часы не так точны, как часы на борту спутников. Большинство из них основаны на кристаллах кварца. Помните, мы говорили, что эти часы были точны только до 5 частей на миллион. Если мы умножим это на скорость света, то получим точность ± 1500 метров. Когда мы определяем дальность до двух спутников, наше вычисленное положение будет отклонено на величину, пропорциональную погрешности в наших приемных часах (рис. 16).

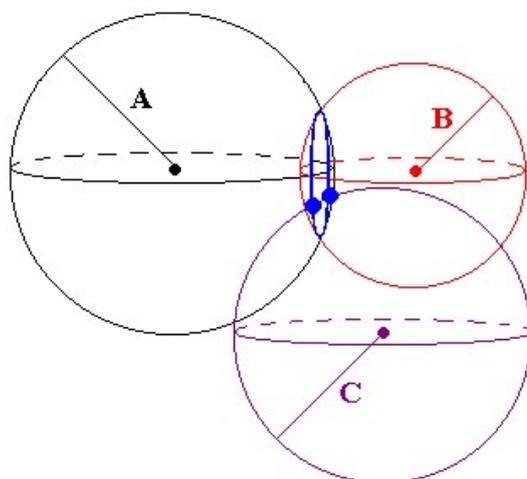


Рис. 16. Центрирование фактического положения

Мы хотим определить наше фактическое положение, но, как показано на рисунке 16, временная погрешность приемника вызывает ошибки диапазона, которые приводят к ошибкам положения. Приемник знает, что есть ошибка, он просто не знает размер ошибки. Если мы теперь вычислим диапазон до третьего спутника, он не будет пересекать вычисленное положение (рис. 17).

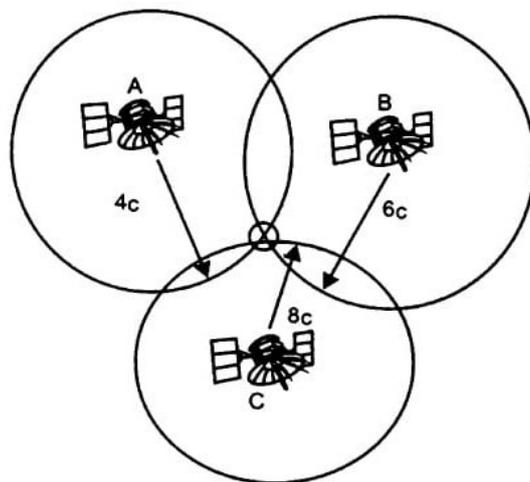


Рис. 17. Центрирование фактического положения по трем спутникам

Теперь об одном из гениальных методов, используемых в позиционировании ГНСС. Приемник знает, что причина, по которой псевдодуги к трем спутникам не пересекаются, заключается в том, что его часы не очень хороши. Приемник запрограммирован на продвижение или задержку своих тактовых импульсов до тех пор, пока псевдодиапазоны к трем спутникам не сойдутся в одной точке, (рис. 18).

Невероятная точность спутниковых часов теперь была «перенесена» на часы приемника, устраняя ошибку часов приемника в определении положения. Приемник теперь имеет как точное положение, так и очень, очень точное время. Это открывает возможности для широкого спектра применений, о чем мы еще поговорим.

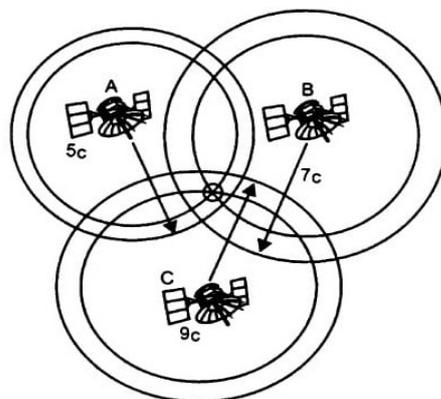


Рис. 18. Псевдодиапазоны к трем спутникам

Приведенный выше метод показывает, как в двумерном представлении можно устранить временную неточность приемника и определить его положение с помощью диапазонов до трех спутников. Когда мы расширяем этот метод до трех измерений, нам нужно добавить диапазон к четвертому спутнику. Это является причиной того, что для определения местоположения требуется линия визирования как минимум четырех спутников ГНСС.

Источники ошибок глобальной навигационной спутниковой системы

Приемник ГНСС вычисляет положение на основе данных, полученных со спутников. Однако существует множество источников ошибок, которые, если их не исправить, приводят к неточности вычисления положения. Некоторые из этих ошибок, например вызванные преломлением спутникового сигнала при его прохождении через ионосферу и тропосферу, обусловлены естественными причинами, а некоторые, например методы селективной доступности правительства, вводятся специально.

Тип ошибки и то, как она смягчается, имеет значение для вычисления точного положения, поскольку уровень точности полезен только в той степени, в которой измерению можно доверять.

Геометрическое разбавление точности

Геометрическое расположение спутников, как они представлены приемнику, влияет на точность позиционных и временных расчетов. Приемники будут идеально спроектированы для использования сигналов от доступных спутников таким образом, чтобы свести к минимуму это так называемое «разбавление точности».

Чтобы проиллюстрировать разбавление точности, рассмотрим пример, показанный на рис. 19, где отслеживаемые спутники сгруппированы в небольшой области неба. Как вы можете видеть, трудно определить, где пересекаются диапазоны. Положение «растягивается» на область пересечения диапазонов, область, которая увеличивается неточностями диапазона (которые можно рассматривать как «сгущение» линий диапазона).

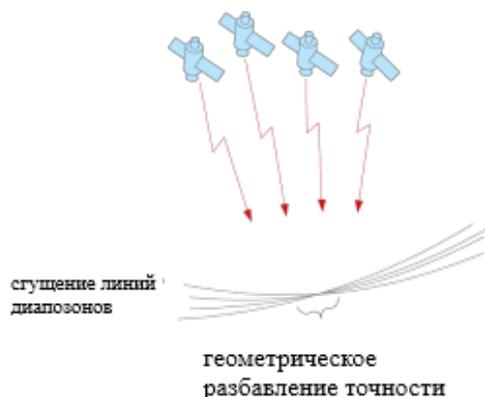


Рис. 19. Разбавление точности

Как показано на рисунке 20, добавление измерения дальности к спутнику, который отделен от кластера, позволяет нам более точно определить фиксацию.

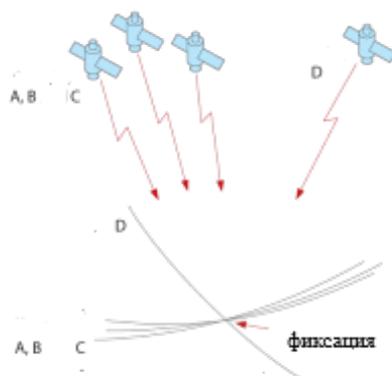


Рис. 20. Определение фиксации

Хотя он рассчитывается с использованием сложных статистических методов, мы можем сказать следующее о разбавление точности.

Выводы

Разбавление точности – это числовое представление геометрии спутника, и оно зависит от местоположения спутников, которые видны приемнику.

Разбавление точности может быть использована в качестве основы для выбора спутников, на которых будет основано решение о местоположении; в частности, выбор спутников для минимизации разбавление точности для конкретного приложения.

Разбавление точности изменяется в зависимости от времени суток и географического положения, но для фиксированного положения геометрическое представление спутников повторяется каждый день для ГНСС.

Разбавление точности можно рассчитать без определения диапазона. Все, что требуется, это координаты спутника и приблизительное местоположение приемника.

Геометрическое разбавление может быть выражен в виде ряда отдельных элементов, определяющих разбавление точности для конкретного типа измерения, например, горизонтальное разбавление точности, вертикальное разбавление точности и позиционное разбавление точности. Эти факторы математически взаимосвязаны. В некоторых случаях, например, когда спутники находятся низко в небе, горизонтальное разбавление точности является низким, и поэтому можно будет получить хорошее или отличное определение горизонтального положения (широта и долгота), но вертикальное разбавление точности может быть достаточным только для определения средней высоты. Аналогично, когда спутники сгруппированы высоко в небе, вертикальное разбавление точности лучше, чем горизонтальное разбавление точности.

В Канаде и в других странах на высоких широтах спутники ГНСС расположены ниже в небе, и достижение оптимального разбавления точности для

некоторых применений, особенно там, где требуется хорошее вертикальное разбавление точности, иногда является проблемой.

Приложения, в которых доступные спутники расположены низко над горизонтом или сгруппированы под углом, например, в городских условиях или в условиях глубокой открытой разработки, могут подвергать пользователей опасности использования допинга. Если вы знаете, что ваше приложение будет иметь затрудненные условия, вы можете использовать инструмент планирования миссии, чтобы определить идеальное время – время с идеальным разбавлением точности.

Применение глобальной навигационной спутниковой системы

После того, как ошибки были учтены в уравнении ГНСС, приемник может определить свое положение и время и передать эту информацию в приложение конечного пользователя. Рынок технологий ГНСС – это вездесущая многомиллиардная индустрия. Применения колеблются от просто ручных средств навигации метр-уровня, к робастному, сантиметр-уровень, располагая разрешения для обзора, беспилотный и военной.

По мере того как приложения становятся все более сложными и повсеместными, возможности для сценариев отказа ГНСС, преднамеренных или непреднамеренных, увеличиваются.

ГЛАВА 3. СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Развитые страны в настоящее время имеют существующие или планируемые космические программы, которые включают внедрение национальных или региональных глобальных навигационных спутниковых систем. Функционируют следующие системы ГНСС:

1. GPS (США);
2. ГЛОНАСС (Россия);
3. Бэйдоу (Китай);
4. Система Galileo ГНСС (Европейский Союз);
5. Региональная навигационная спутниковая система IRNSS (Индия);
6. Региональная навигационная спутниковая система QZSS (Япония).

3.1. Система GPS

GPS – глобальная система позиционирования, США

GPS была первой системой ГНСС. Спутники GPS (или NAVSTAR, как его официально называют) были впервые запущены в конце 1970-х начале 1980-х годов для Министерства обороны США. С тех пор было запущено несколько поколений (называемых «блоками») спутников GPS. Первоначально GPS был доступен только для военного использования, но в 1983 году было принято решение распространить его на гражданское использование. Спутник GPS изображен на рис. 21. космический сегмент.



Рис. 21. Спутник GPS

Космический сегмент GPS обобщен в таблице 2. Орбитальный период каждого спутника составляет примерно 12 часов, поэтому он обеспечивает GPS-приемник по крайней мере с шестью спутниками в поле зрения из любой точки на Земле, в условиях открытого неба.

Таблица 2

Спутниковая группировка GPS

Спутники	27 плюс 4 запасных части
орбитальная плоскость	6
наклонение орбиты	55 градусов
радиус орбиты	20 200 км

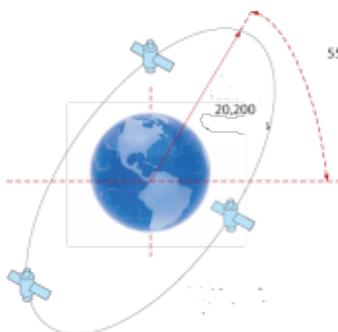


Рис. 22. Орбита спутника GPS

Спутники GPS непрерывно транслируют свою идентификацию, сигналы дальности, состояние спутника и скорректированные эфемериды (параметры орбиты). Спутники идентифицируются либо по их номеру космического аппарата (SVN), либо по их коду псевдослучайного шума (PRN).

Сигналы

В таблице 3 приводится дополнительная информация о сигналах GPS. GPS-сигналы основаны на технологии CDMA (Code Division Multiple Access).

Таблица 3

Характеристики сигнала GPS

Обозначение	Частота	Описание
L1	1575.42 МГц	L1 модулируется кодом C/A (грубый / прием) и P-кодом (точность), который шифруется для военных и других авторизованных пользователей.
L2	1227.60 МГц	L2 модулируется P-кодом и, начиная с блока IIR-M спутников, L2C (гражданский) код. L2C начал транслировать сообщения гражданской навигации (CNAV) и обсуждается далее в этой лекции в разделе "модернизация GPS".
L5	1176.45 МГц	L5, доступный начиная со спутников блока IIF, начал транслировать сообщения CNAV. Сигнал L5 обсуждается далее в этой лекции в разделе "модернизация GPS".

Управляющий сегмент

Сегмент управления GPS состоит из главной станции управления (и резервной главной станции управления), станций мониторинга, наземных антенн и удаленных станций слежения.

Таблица 4

Сегмент управления GPS

Главный пост управления	Schriever AFB
Альтернативная главная станция управления	Vandenberg AFB
Станции мониторинга ВВС	SCHRIEVER AFB, мыс Канаверал, Гавайи, остров Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджалейн
Станции дистанционного слежения AFSCN	Schriever AFB, Vandenberg AFB, Hawaii, New Hampshire, Greenland, United Kingdom, Diego Garcia, Guam
Станции мониторинга NGA	USNO Вашингтон, Аляска, Великобритания, Эквадор, Аргентина, Южная Африка, Бахрейн, Южная Корея, Австралия, Новая Зеландия
Наземные антенны	Мыс Канаверал, Остров Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджалейн

По всему миру расположены 16 станций мониторинга; шесть из ВВС США и десять из NGA (National Geospatial Intelligence Agency, также входит в состав Министерства обороны США). Станции мониторинга отслеживают спутники по их широкополосным сигналам, которые содержат спутниковые эфемеридные данные, сигналы дальности, тактовые данные и данные альманаха. Эти сигналы передаются на главный пульт управления, где производится пересчет эфемерид. Полученные эфемериды и временные поправки передаются обратно на спутники через станции загрузки данных.

Наземные антенны расположены совместно со станциями мониторинга и используются главным пунктом управления для связи и управления спутниками GPS. Станции дистанционного слежения сети спутникового контроля ВВС (AFSCN) обеспечивают мастерскую станцию управления дополнительной спутниковой информацией для улучшения телеметрии, отслеживания и управления.

Модернизация GPS

В 1995 году GPS достигла полностью эксплуатационного потенциала (FOC). В 2000 году было начато осуществление проекта по модернизации космического и наземного сегментов GPS с целью использования преимуществ новых технологий и потребностей пользователей.

Модернизация космического сегмента включает в себя новые сигналы, а также повышение точности атомных часов, силы спутникового сигнала и надежности. Модернизация сегмента управления включает в себя усовершенствование ионосферного и тропосферного моделирования и повышение точности на орбите, а также дополнительные станции монито-

ринга. Оборудование потребителя также эволюционировало, для того чтобы принять преимущество улучшений этапа космоса и управления.

L2C

Модернизированные спутники GPS (блок PR-M и более поздние) передают новый гражданский сигнал, обозначенный L2C, обеспечивая доступность двух гражданских кодов. L2C легче для пользовательского сегмента для отслеживания и обеспечивает повышенную точность навигации. Он также обеспечивает возможность непосредственного измерения и устранения ошибки задержки ионосферы для конкретного спутника, используя гражданские сигналы как на L1, так и на L2. Ожидается, что сигнал L2C будет доступен с 24 спутников к 2018 году.

L5

Соединенные Штаты внедрились третью гражданскую частоту GPS (L5) на уровне 1176,45 МГц. Модернизированные спутники GPS (Блок II-F и более поздние) передают сигнал L5.

Преимущества сигнала L5 включают в себя выполнение требований для критических приложений безопасности жизнедеятельности, таких как те, которые необходимы для гражданской авиации и обеспечения:

- улучшенная ионосферная коррекция;
- избыточность сигнала;
- улучшена точность сигнала;
- улучшено подавление помех.

Сигнал L5, как ожидается, будет доступен с 24 спутников к 2021 году.

L1C

Четвертый гражданский сигнал GPS, L1C, планируется для следующего поколения спутников GPS, Блок III. L1C будет обратно совместим с L1 и обеспечит большую гражданскую совместимость с Galileo. Японский QZSS, Индийский IRNSS и китайский BeiDou также планируют транслировать L1C, что делает его будущим стандартом для международной оперативной совместимости.

L1C имеет новую схему модуляции, которая улучшит прием GPS в городах и других сложных условиях, первые спутники блока III запущены в 2016 году и что к 2026 году будет создано 24 спутника вещания L1C.

Прочее

В дополнение к новым сигналам L1C, L2C и L5, модернизация спутника GPS включает в себя новые военные сигналы.

3.2. ГЛОНАСС

ГЛОНАСС – глобальная навигационная спутниковая система, Россия



Рис. 23. Спутник ГЛОНАСС

ГЛОНАСС была разработана Советским Союзом в качестве экспериментальной военной системы связи в 1970-х гг. когда закончилась Холодная война. Советский Союз признал, что ГЛОНАСС имеет коммерческое применение, благодаря способности системы передавать метеорологические передачи, сообщения, навигационные и разведывательные данные.

Первый спутник ГЛОНАСС был запущен в 1982 году, а система была объявлена полностью работоспособной в 1993 году. После периода, когда эффективность ГЛОНАСС снизилась, Россия взяла на себя обязательство довести систему до необходимого минимума из 18 активных спутников. В настоящее время ГЛОНАСС имеет полное развертывание 24 спутников в созвездии.

Спутники ГЛОНАСС эволюционировали с тех пор, как были запущены первые из них. Последнее поколение, Глонасс-М, показано на рисунке 23 в процессе подготовки к запуску.

Проектирование системы ГЛОНАСС

Созвездие ГЛОНАСС обеспечивает видимость для переменного числа спутников, в зависимости от вашего местоположения. Наличие как минимум четырех спутников в поле зрения позволяет приемнику ГЛОНАСС вычислять свое положение в трех измерениях и синхронизироваться с системным временем. Космический сегмент ГЛОНАСС обобщен в таблице 4.

Таблица 4

Спутниковая группировка ГЛОНАСС

Спутники	24 плюс 3 запасных части
Орбитальная плоскость	3
Наклонение орбиты	64,8 градуса
Радиус орбиты	19 140 км

Космический сегмент ГЛОНАСС состоит из 24 спутников, расположенных в трех орбитальных плоскостях, по восемь спутников в каждой плоскости.

Геометрия созвездия ГЛОНАСС повторяется примерно раз в восемь дней. Период обращения каждого спутника составляет приблизительно 8/17 звездного дня, так что после восьми звездных дней спутники ГЛОНАСС совершили ровно 17 орбитальных оборотов.

Каждый орбитальный самолет содержит восемь равноудаленных спутников. Один из спутников будет находиться в одной и той же точке неба в одно и то же звездное время каждый день.

Спутники размещаются на номинально круговых орбитах с целевыми наклонениями 64,8 градуса и радиусом орбиты 19 140 км, что примерно на 1060 км ниже, чем у спутников GPS.

Спутниковый сигнал ГЛОНАСС идентифицирует спутник и включает в себя:

- 1) информацию о местоположении, скорости и ускорении для вычисления местоположения спутника;
- 2) спутниковую медицинскую информацию;
- 3) смещение времени ГЛОНАСС от UTC (SU) [Coordinated Universal Time Russia];
- 4) альманах всех остальных спутников ГЛОНАСС.

Сегмент управления ГЛОНАСС

Сегмент управления ГЛОНАСС состоит из Центра управления системой и сети командных станций слежения по всей России. Сегмент управления ГЛОНАСС, аналогичный GPS, отслеживает работоспособность спутников, определяет поправки эфемерид, а также смещения спутниковых часов относительно времени ГЛОНАСС и UTC (Coordinated Universal Time). Дважды в день он загружает поправки на спутники.

Сигналы ГЛОНАСС

Таблица 5

Характеристики сигналов ГЛОНАСС

Обозначение	Частота	Описание
L1	1598.0625-1609.3125 МГц	L1 модулируется сигналами HP (высокая точность) и SP (стандартная точность)
L2	1242.9375-1251.6875 МГц	L2 модулируется сигналами HP и SP. Код SP идентичен тому, что передается на L1

Каждый спутник ГЛОНАСС передает на немного различную частоту L1 и L2, причем P-код (код HP) используется как на L1, так и на L2, а C/A-код (SP-код) – на L1 (все спутники) и L2 (большинство спутников). Спутники ГЛОНАСС передают один и тот же код на разных частотах, метод, известный как FDMA, для множественного доступа с частотным разделением каналов. Обратите внимание, что это отличный метод от того, который используется GPS.

Сигналы ГЛОНАСС имеют ту же поляризацию (ориентацию электромагнитных волн), что и сигналы GPS, и имеют сопоставимую силу сигнала.

Система ГЛОНАСС базируется на 24 спутниках, использующих 12 частот. Спутники могут обмениваться частотами, имея антиподальные спутники, передающие на той же частоте. Антиподальные спутники находятся в одной орбитальной плоскости, но разделены на 180 градусов. Парные спутники могут передавать информацию на одной и той же частоте, поскольку они никогда не появятся одновременно в поле зрения приемника на поверхности Земли (рис. 24).



Рис. 24. Парные спутники

Модернизация ГЛОНАСС

По мере истечения срока службы нынешних спутников Глонасс-М они будут заменены спутниками следующего поколения Глонасс-К. Новые спутники обеспечат систему ГЛОНАСС новыми сигналами ГНСС.

L3

Первый блок спутников Глонасс-К (Глонасс-К1) будет транслировать новый гражданский сигнал, обозначенный L3, с центром в 1202,025 МГц. В отличие от существующих сигналов ГЛОНАСС, L3 основан на CDMA, что позволит облегчить взаимодействие с GPS и Galileo.

Первый спутник Глонасс-К1 был запущен в феврале 2011 года.

L1 и L2 CDMA

Второй блок спутников Глонасс-К (Глонасс-К2) добавляет еще два сигнала на основе CDMA, транслируемых на частотах L1 и L2. Выходящие сигналы FDMA L1 и L2 будут продолжать транслироваться также для поддержки устаревших приемников.

L5

Третий блок спутников Глонасс-К (ГЛОНАСС-км) добавит в систему ГЛОНАСС сигнал L5

3.3. BeiDou

Навигационная спутниковая система BeiDou, Китай

Китай приступил к внедрению системы ГНСС, известной как навигационная спутниковая система BeiDou (BDS). Эта система реализуется в два этапа: на начальном этапе обеспечивается региональный охват, а на втором этапе-глобальный охват.



Рис. 25. Логотип навигационной спутниковой системы (BDS)

Начальная фаза системы BeiDou официально вступила в действие в декабре 2012 года, обеспечивая охват Азиатско-Тихоокеанского региона. Региональный космический сегмент BeiDou имеет пять спутников на геостационарной околоземной орбите (GEO), пять спутников на наклонной геосинхронной орбите (IGSO) и четыре спутника на средней околоземной орбите (MEO) (краткая информация приводится в таблице 6).

Таблица 6

Региональная спутниковая группировка BeiDou

Спутники	5 Geo	5 ИГСО	4 Мео
Наклонение орбиты	–	55 градусов	55 градусов
Радиус орбиты	35 787 км	35 787 км	21 528 км

Планируется, что вторая фаза системы BeiDou будет завершена к концу 2020 года и обеспечит глобальный охват с расширенным региональным охватом. Космический сегмент будет состоять из созвездия из 5 спутников GEO, 3 спутников IGSO и 27 спутников MEO, как показано в таблице 7.

Таблица 7

Планируемая глобальная спутниковая группировка BeiDou

Спутники	5 GEO	3 IGSO	27 Мео
Орбитальная плоскость	–	–	3
Наклонение орбиты	–	55 градусов	55 градусов
Радиус орбиты	35 787 км	35 787 км	21 525 км

Сигналы BeiDou

Сигналы BeiDou, основанные на технологии CDMA, суммированы в таблице 8. Будут предоставлены три уровня обслуживания.

Государственная служба для гражданского использования и бесплатно для пользователей. Государственная служба обеспечивает точность определения положения в пределах 10 метров, точность определения скорости в пределах 0,2 метра в секунду и точность определения времени в пределах 10 наносекунд.

Лицензированная услуга доступна только пользователям, получившим подписку. Лицензированное обслуживание улучшает точность положения до 2 метров. Эта служба также предоставляет двунаправленные короткие сообщения (120 китайских символов) и предоставляет информацию о состоянии системы.

Ограниченная военная служба, более точная, чем Государственная служба, также обеспечивает информацию о состоянии системы и возможности военной связи.

Таблица 8

Характеристики сигнала BeiDou

Обозначение	Частота	Описание
B1	1561.098 МГц	B1 предоставляет как сигналы государственной службы, так и сигналы ограниченной службы
B2	1207.140 МГц	B2 предоставляет как сигналы государственной службы, так и сигналы ограниченной службы
B3	1268.520 МГц	B3 предоставляет только сигналы ограниченного обслуживания

3.4. Галилей

Galileo, планируемая Европейская глобальная навигационная спутниковая система, обеспечит высокоточную и гарантированную глобальную службу позиционирования под гражданским контролем. Соединенные Штаты и Европейский Союз сотрудничают с 2004 года в целях обеспечения совместимости и взаимодействия GPS и Galileo на уровне пользователей.

Предлагая двойные частоты в качестве стандарта, Galileo обеспечит точность позиционирования в реальном времени вплоть до метрового диапазона, ранее не достижимую общедоступной системой.

Компания Galileo гарантирует доступность услуг во всех случаях, кроме самых экстремальных, и в течение нескольких секунд информирует пользователей о выходе из строя любого спутника. Это делает его соответствующим для применений, где безопасность критическая, как в воздух и наземный транспорт.

Первый экспериментальный спутник Galileo, входящий в состав испытательного стенда системы Galileo (GSTB), был запущен в декабре 2005 года. Цель этого экспериментального спутника состояла в том, чтобы охарактеризовать критические технологии Galileo, которые уже разрабатывались в рамках контрактов Европейского космического агентства (ЕКА). Были запущены четыре действующих спутника – два в октябре 2011 года и два в октябре 2012 года – для проверки базового космического и наземного сегмента Galileo. В ближайшие годы будут запущены остальные спутники, причем планы достичь ФОК, вероятно, после 2020 года.

Проектирование системы

Космический сегмент Galileo кратко представлен в таблице 9. Как только созвездие заработает, навигационные сигналы Galileo обеспечат охват на всех широтах. Большое число спутников, наряду с оптимизацией группировки и наличием трех активных запасных спутников, позволит гарантировать, что потеря одного спутника не окажет заметного влияния на сегмент пользователей.



Рис. 26. Галилей

Два центра управления Galileo (GCC), расположенные в Европе, контролируют спутники Galileo. Данные, восстановленные глобальной сетью из тридцати сенсорных станций Galileo (GSS), будут передаваться в ССЗ через резервную сеть связи. ГКС будут использовать данные сенсорных станций для вычисления информации о целостности и синхронизации спутникового времени с часами наземных станций. Центры управления будут осуществлять связь со спутниками через станции восходящей связи, которые будут установлены по всему миру.

Galileo будет обеспечивать глобальную поисково-спасательную функцию (SAR), основанную на системе оперативного поиска и спасения Коспас-Sarsat2 с помощью спутника. Для этого каждый спутник Galileo будет оснащен транспондером, который будет передавать сигналы бедствия в Спасательно-координационный центр (РКК), который затем начнет спасательную операцию. В то же время, система будет предоставлять сигнал пользователю, сообщая им, что их ситуация была обнаружена и что помощь находится в процессе. Эта последняя функция является новой и рассматривается как крупное обновление по сравнению с существующими системами, которые не обеспечивают обратную связь с пользователем.

Таблица 9

Спутниковая группировка Galileo

Спутники	27 оперативные и три активные запасные части
Орбитальная плоскость	3
Наклонение орбиты	56 градусов
Радиус орбиты	23,222 км

Сигналы Галилея

В таблице 10 представлена дополнительная информация о сигналах Galileo.

Таблица 10

Характеристики сигнала Галилея

Обозначение	Частота	Описание
E1A	1575.42 МГц	Сигнал государственной регулируемой услуги.
E1B	1575.42 МГц	Безопасность жизни и открытый сигнал обслуживания (данные)
E1C	1575.42 МГц	Безопасность жизни и открытого сигнала обслуживания (без данных)
E5a I	1176.45 МГц	Откройте сервисный сигнал (данные)
E5a Q	1176.45 МГц	Открытый сервисный сигнал (без данных)
E5b I	1207,14 МГц	Безопасность жизни и открытый сигнал обслуживания (данные)
E5b Q	1207,14 МГц	Безопасность жизни и открытого сигнала обслуживания (без данных)
AltBOC	1191.795 МГц	Комбинированный сигнал E5a / E5b
E6 A	1278,75 МГц	Сигнал государственной регулируемой услуги
E6 B	1278,75 МГц	Сигнал коммерческого обслуживания (данные)
E6 C	1278,75 МГц	Сигнал коммерческого обслуживания (без данных)

3.5. Прочие системы

IRNSS – индийская региональная навигационная спутниковая система, Индия

Индия находится в процессе запуска своей собственной региональной навигационной спутниковой системы для обеспечения охвата Индии и соседних регионов. Система IRNSS будет состоять из семи спутников, три из которых находятся на геостационарных орбитах и четыре – на наклонных геосинхронных орбитах. Система обеспечит точность определения местоположения более 10 метров по всей территории Индии и более 20 метров для района, прилегающего к Индии на 1500 км.

IRNSS будет предоставлять две услуги. Стандартная услуга позиционирования (SPS), доступная всем пользователям, и ограниченная услуга (RS), доступная только авторизованным пользователям.

В таблице 12 приводится сводная информация о сигналах IRNSS. Первый спутник IRNSS был запущен в июле 2013 года, а второй спутник был запущен в апреле 2014 года. Полную группировку из семи спутников планируется завершить к 2015 году.

Таблица 12

Характеристики сигнала IRNSS

Обозначение	Частота	Описание
L5	1176.45 МГц	L5 будет модулироваться с помощью сигналов SPS и RS
S	2492.028 МГц	S будет модулироваться с помощью сигналов SPS и RS. Навигационные сигналы также будут передаваться на S

QZSS – квази-зенитная спутниковая система, Япония

QZSS – это четыре спутниковые системы, которые будут предоставлять региональные услуги связи и информацию о местоположении для мобильной среды. Один из четырех спутников был запущен в 2010 году. В центре внимания этой системы находится регион Японии, но она будет оказывать услуги региону Азии и Океании.

QZSS обеспечит ограниченную точность в автономном режиме, поэтому он рассматривается как служба увеличения GPS. Спутники QZSS используют те же частоты, что и GPS, и имеют часы, синхронизированные со временем GPS. Это позволяет использовать спутники QZSS так, как если бы они были дополнительными спутниками GPS. Спутники QZSS также передают сигнал SBAS совместимый и высокоточный сигнал на E6.

Три спутника QZSS будут размещены на периодической квази-зенитной орбите (QSO). Эти орбиты позволяют спутникам «обитать» над Японией более 12 часов в сутки, на высоте более 70 (то есть они появляются почти над головой большую часть времени).

В будущем Япония намерена расширить систему QZSS до семи спутниковых систем.

Сводка сигналов ГНСС

Чем больше становится доступных ГНСС-созвездий и сигналов, тем более сложным становится спектр ГНСС.

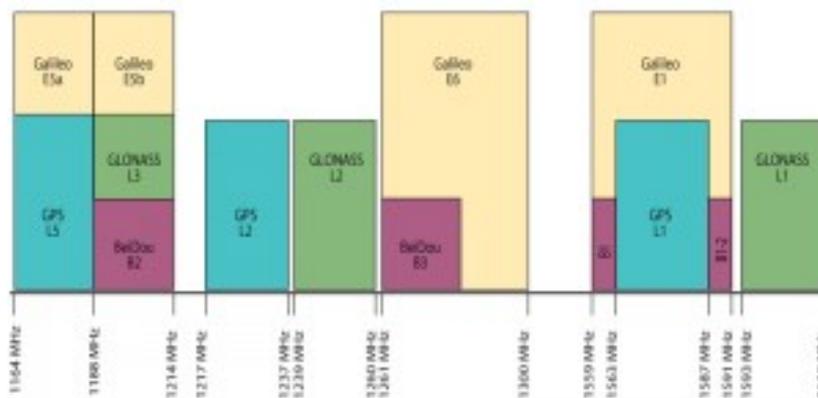


Рис. 27. Сигналы для четырех глобальных систем ГНСС

ГЛАВА 4. ИСТОЧНИКИ ОШИБОК ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

Источников ошибок ГНСС. Это факторы, которые затрудняют приемнику ГНСС вычисление точного положения. Мы более глубоко рассмотрим эти источники ошибок.

Таблица 13

Системные ошибки ГНСС

Источник вклада	Диапазон ошибок, м
Спутниковые часы	± 2
Ошибки орбиты	$\pm 2,5$
Ионосферные задержки	± 5
Тропосферные задержки	$\pm 0,5$
Щум приемника	$\pm 0,3$
Многолучевой	± 1

4.1. Источник ошибки Спутниковые часы

Атомные часы в спутниках ГНСС очень точны, но они действительно дрейфуют небольшое количество. К сожалению, небольшая погрешность в спутниковых часах приводит к существенной ошибке в положении, рассчитанном приемником. Например, 10 наносекунд ошибки синхронизации приводит к ошибке положения 3 метров.

Часы на спутнике контролируются наземной системой управления ГНСС и сравниваются с еще более точными часами, используемыми в наземной системе управления. В данных нисходящей линии связи спутник предоставляет пользователю оценку своего тактового смещения. Как правило, оценка имеет точность около ± 2 метра, хотя точность может варьироваться между различными системами ГНСС. Для получения более точного положения приемнику ГНСС необходимо компенсировать ошибку синхронизации.

Один из способов компенсации ошибки синхронизации заключается в загрузке точной спутниковой информации о тактовых импульсах с разнесенной системы усиления (SBAS) или поставщика услуг точного позиционирования точек (PPP). Точная информация о спутниковых часах содержит поправки на ошибки часов, которые были рассчитаны системой SBAS или PPP.

Другим способом компенсации ошибки синхронизации является использование дифференциальной ГНСС или Кинематической конфигурации приемника реального времени (RTK).

Ошибки орбиты

Спутники ГНСС движутся по очень точным, хорошо известным орбитам. Однако, как и спутниковые часы, орбиты действительно меняются незначительно. Кроме того, как и спутниковые часы, небольшое изменение орбиты приводит к значительной ошибке в вычисленном положении.

Наземная система управления ГНСС постоянно контролирует орбиту спутника. При изменении орбиты спутника наземная система управления посылает на спутники коррекцию, и эфемериды спутника обновляются. Даже с учетом поправок, вносимых наземной системой управления ГНСС, на орбите по-прежнему имеются небольшие погрешности, которые могут приводить к погрешности определения положения до $\pm 2,5$ метра.

Одним из способов компенсации ошибок спутниковой орбиты является загрузка точной информации об эфемеридах из системы SBAS или поставщика услуг PPP.

Другим способом компенсации ошибок орбиты спутника является использование дифференциальной конфигурации приемника ГНСС или RTK.

Ионосферная задержка

Ионосфера – это слой атмосферы между 80 км и 600 км над землей. Этот слой содержит электрически заряженные частицы, называемые ионами. Эти ионы задерживают спутниковые сигналы и могут вызвать значительную погрешность определения положения спутника (рис. 28). Обычно погрешность составляет ± 5 метров, но могут быть и больше в периоды высокой ионосферной активности.

Ионосферная задержка изменяется в зависимости от солнечной активности, времени года, сезона, времени суток и местоположения. Это очень затрудняет прогнозирование того, насколько сильно ионосферная задержка влияет на расчетное положение.

Ионосферная задержка также изменяется в зависимости от радиочастоты сигнала, проходящего через ионосферу. Приемники ГНСС, которые могут принимать более одного сигнала ГНСС, например L1 и L2, могут использовать это в своих интересах. Сравнивая измерения для L1 с измерениями для L2, приемник может определить величину ионосферной задержки и удалить эту ошибку из расчетного положения.

Для приемников, которые могут отслеживать только одну частоту ГНСС, ионосферные модели используются для уменьшения ошибок задержки ионосферы. Из-за изменяющегося характера ионосферной задержки модели не столь эффективны, как использование нескольких частот при удалении ионосферной задержки.

Ионосферные условия очень похожи в пределах локальной области, поэтому базовая станция и приемники ровера испытывают очень похожую задержку. Это позволяет дифференциальным системам ГНСС и RTK компенсировать ионосферную задержку.

Тропосфера – это слой атмосферы, наиболее близкий к поверхности Земли.

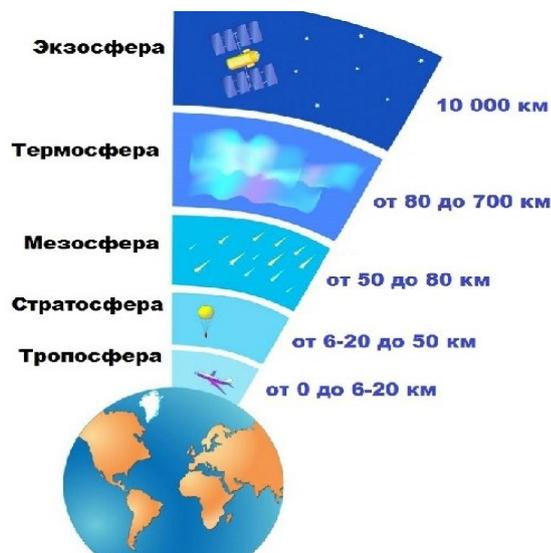


Рис. 28. Тропосферная задержка

Вариации в тропосферной задержке вызваны изменением влажности, температуры и атмосферного давления в тропосфере.

Поскольку тропосферные условия очень похожи в пределах локальной области, базовая станция и приемники ровера испытывают очень похожую тропосферную задержку. Это позволяет дифференциальным системам ГНСС и RTK компенсировать тропосферную задержку.

Приемники ГНСС могут также использовать тропосферные модели для оценки величины ошибки, вызванной тропосферной задержкой.

Шум приемника

Шум приемника относится к ошибке положения, вызванной аппаратным и программным обеспечением приемника ГНСС. Приемники ГНСС верхнего сегмента клонат имеют меньше шума приемника, чем более недорогие приемники ГНСС.

Многолучевой

Многолучевость возникает, когда сигнал ГНСС отражается от объекта, такого как стена здания, к антенне ГНСС. Поскольку отраженный сигнал перемещается дальше, чтобы достичь антенны, отраженный сигнал поступает в приемник с незначительной задержкой (рис 29). Этот задержанный сигнал может привести к тому, что приемник вычислит неверное положение.

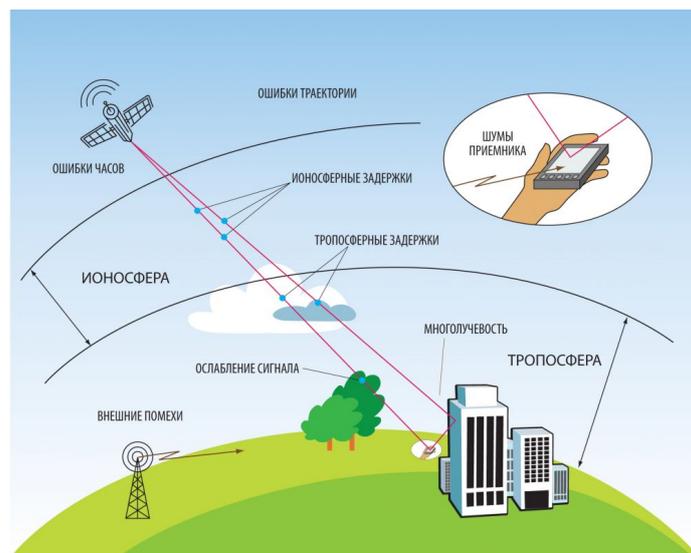


Рис. 29. Многолучевость

Самый простой способ уменьшить ошибки многолучевости – разместить антенну ГНСС в месте, удаленном от отражающей поверхности. Если это невозможно, приемник и антенна ГНСС должны работать с многолучевыми сигналами.

Длительная задержка многолучевые ошибки обычно обрабатываются приемником ГНСС, в то время как короткая задержка многолучевые ошибки обрабатываются антенной ГНСС. Из-за дополнительной технологии, необходимой для работы с многолучевыми сигналами, приемники и антенны ГНСС высокого класса, как правило, лучше отбрасывают многолучевые ошибки.

ГЛАВА 5. УСТРАНЕНИЕ ОШИБОК

Устранение ошибок имеет основополагающее значение для производительности приемника ГНСС. То, как производитель разрабатывает приемник, включая как аппаратные, так и программные элементы проектирования, напрямую влияет на эффективность разрешения ошибок. Чем больше ошибок приемник может устранить, тем выше степень точности позиционирования и надежности он может достичь.

Какова идеальная техника для исправления ошибок? Там действительно нет «лучшего способа», так как это все зависит от производительности позиционирования, необходимого для конечного пользователя приложения. Используя приемник ГНСС в вашем мобильном телефоне, чтобы найти, что новый ресторан не требует такого же уровня производительности, как посадка беспилотного вертолета на движущуюся платформу, например.

Существуют компромиссы между различными методами устранения ошибок в сигналах ГНСС. Используемые методы зависят от уникальных требований каждого приложения, таких как уровень точности, сложность системы, доступность решения, надежность и стоимость.

Мы уже рассматривали основные понятия позиционирования ГНСС, в частности, как они применяются к односточечному позиционированию, где один приемник ГНСС работает индивидуально или «автономно», чтобы определить его местоположение и время. В этой лекции мы представим методы, с помощью которых приемники ГНСС улучшают производительность, используя более продвинутые методы, которые уменьшают или устраняют ошибки в расчете положения. Принципиально позиционирование ГНСС все начинается с простой математической формулы: $\text{скорость} = \text{расстояние} \div \text{время}$. Поэтому необходимо учитывать факторы, влияющие на расстояние до спутника или время, которое требуется для получения сигнала спутника на антенну.

К счастью, некоторые очень умные люди разработали методы для устранения ошибок. В общем, эти приемы можно описать следующим образом:

- усреднение повторных наблюдений в одном и том же месте (наименее эффективный метод);
- моделирование явления, которое вызывает ошибку и прогнозирование значений коррекции;
- дифференциальные поправки (ДГНСС).

В этой лекции мы рассмотрим ряд методов коррекции, как они работают и некоторые из преимуществ и проблем каждого метода. Но давайте сначала рассмотрим концепции многопозиционных/многочастотных и кодовых ГНСС-измерений по сравнению с несущей фазой и их влияние на разрешение ошибок и производительность позиционирования:

5.1. Мульти-созвездие, Мульти-Частота

Способность приемника ГНСС обрабатывать несколько частот из нескольких созвездий при расчете положения имеет значение для оптимального разрешения ошибок.

Многочастотный

Использование многочастотных приемников является наиболее эффективным способом устранения ионосферной ошибки из расчета положения. Ионосферная ошибка изменяется с частотой, поэтому она по-разному влияет на различные сигналы ГНСС. Сравнивая задержки двух сигналов ГНСС, L1 и L2, например, приемник может корректировать влияние ионосферных ошибок.

Новые и модернизированные широкополосные сигналы в полосе L5/E5a обеспечивают собственные возможности снижения уровня шума и многолучевости. Когда приемники объединяют возможности L5/E5a с возможностью устранения ионосферной ошибки с помощью двухчастотной системы, могут быть достигнуты значительные улучшения, как в измерении, так и в точности позиционирования.

Многочастотные приемники также обеспечивают большую невосприимчивость к помехам. При наличии помех в полосе частот L2 около 1227 МГц многочастотный приемник будет по-прежнему отслеживать сигналы L1 и L5 для обеспечения постоянного позиционирования.

Мульти-созвездие

Как было описано ранее, приемник с несколькими созвездиями может получить доступ к сигналам из нескольких созвездий: GPS, ГЛОНАСС, BeiDou и Galileo, например. Использование других созвездий в дополнение к GPS, приводит к тому, что в поле зрения находится большее количество спутников, что имеет следующие преимущества:

- 1) уменьшенное время приема сигнала;
- 2) улучшена точность позиционирования и времени;
- 3) уменьшение проблем, причиненных затруднениями как здания и листва;
- 4) улучшено пространственное распределение видимых спутников, что приводит к улучшению разбавления точности.

Когда приемник использует сигналы от различных созвездий, резервирование встроено в решение. Если сигнал блокируется из-за рабочей среды, существует очень высокая вероятность того, что приемник может просто принять сигнал из другого созвездия – обеспечение непрерывности решения. Хотя крайне редко, если система ГНСС терпит неудачу, есть и другие доступные системы.

Для определения местоположения в режиме только GPS приемник должен отслеживать не менее четырех спутников. В режиме нескольких созвездий приемник должен отслеживать пять спутников, по крайней мере, один из которых должен быть от спутника в другом созвездии, поэтому приемник может определить временное смещение между созвездиями.

5.2. Измерения глобальной навигационной спутниковой системы

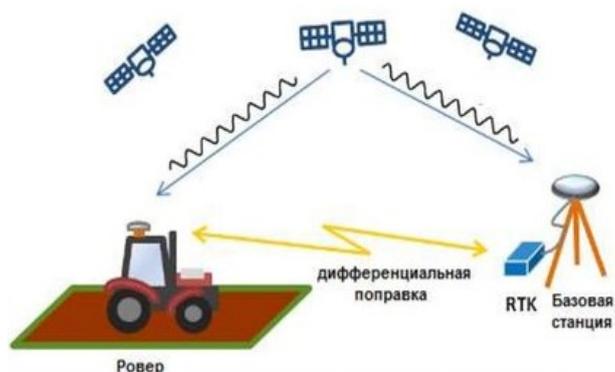


Рис. 30. Измерения ГНСС

Измерения ГНСС – точность кода и несущей фазы.

Метод позиционирования, описанный в лекции 2, называется основным на коде методом, поскольку приемник коррелирует с кодами псевдослучайного шума (PRN), передаваемыми четырьмя или более спутниками, и использует их для определения своего положения и времени. При некоторых измерениях, необходима более высокая точность. Так были разработаны основные методы, такие как кинематика в реальном времени (RTK) и точное позиционирование точек (PPP), которые могут обеспечить позиции, которые являются на порядок более точными, чем основанные на коде ГНСС.

Фазовая модуляция несущей волны с использованием кода PRN используется для дифференцирования спутниковых сигналов и предоставления информации о времени сигнала для измерений дальности.

Измерения, основанные на модуляции PRN, однозначны, но точность ограничивается субметром.

Несущая волна для сигнала ГНСС представляет собой синусоидальную волну с периодом менее одного метра (19 см для L1), что позволяет проводить более точные измерения.

Измерение фазы несущей волны может быть выполнено с точностью до миллиметра, но это измерение неоднозначно, поскольку общее число циклов между спутником и приемником неизвестно.

Разрешение или оценка неоднозначности фазы несущей является ключом к достижению точного позиционирования с помощью RTK или PPP. Эти два метода используют различные методы для достижения этой цели, но оба используют:

- 1) оценки положения псевдоданных (основанные на коде);
- 2) уменьшение ошибок позиционирования, либо с помощью относительного позиционирования или коррекционных данных;
- 3) множественные спутниковые наблюдения сигнала для того, чтобы найти термины неоднозначности, которые приспособливают наиболее наилучшим образом к данным измерения.

Таким образом, метод, используемый приемником, кодом или измерениями на основе несущей, влияет на производительность позиционирования.

Дифференциальный глобальной навигационной спутниковой системы

Широко используемым методом повышения производительности ГНСС является дифференциальный ГНСС, который показан на рис.40.

В дифференциальной ГНСС положение неподвижного приемника ГНСС, называемого базовой станцией, определяется с высокой степенью точности с использованием обычных методов съемки. Местоположение спутников определяется по точно известным орбитальным эфемеридам и спутниковому времени.

Базовая станция сравнивает обследованное положение с положением, рассчитанным на основе спутниковых диапазонов. Различия между позициями могут быть объяснены эфемеридами спутников и ошибками синхронизации, но в основном ошибки, связанные с атмосферной задержкой. Базовая станция передает эти ошибки другим приемникам (роверам), которые включают поправки в свои расчеты положения.

Дифференциальное позиционирование требует наличия канала передачи данных между базовой станцией и передвижной, если поправки необходимо применять в реальном времени, и, по крайней мере, от четырех спутников ГНСС в поле зрения на базовой станции, так и на передвижной. Абсолютная точность вычисленного положения передвижной будет зависеть от абсолютной точности положения базовой станции.

Поскольку спутники ГНСС вращаются высоко над землей, пути распространения от спутников к базовым станциям и марсоходам проходят через аналогичные атмосферные условия, если базовая станция и марсоходы находятся не слишком далеко друг от друга. Дифференциальный ГНСС очень хорошо работает с разделениями от базовой станции до марсохода длиной до десятков километров.

5.3. Системы усиления на основе спутников

Для применений, где стоимость дифференциальной системы ГНСС не оправдана, или если станции марсохода расположены на слишком большой площади, спутниковая система усиления (SBAS) может быть более подходящей для повышения точности позиционирования.

Системы SBAS – это геосинхронные спутниковые системы, которые предоставляют услуги для повышения точности, целостности и доступности базовых сигналов ГНСС.

Точность увеличена через передачу коррекций широкого диапазона для ошибок ряда ГНСС.

Целостность повышается благодаря тому, что сеть SBAS быстро обнаруживает ошибки спутникового сигнала и отправляет предупреждения приемникам о том, что они не должны отслеживать неисправный спутник.

Доступность сигнала может быть улучшена, если SBAS передает сигналы дальности от своих спутников. Системы SBAS включают в себя

опорные станции, мастер-станции, станции восходящей линии связи и геосинхронные спутники (рис. 31).

Опорные станции, которые географически распределены по всей зоне обслуживания SBAS, принимают сигналы ГНСС и передают их на главную станцию (рис. 31). Поскольку местоположение опорных станций точно известно, мастер-станция может точно рассчитать поправки на широкую область.

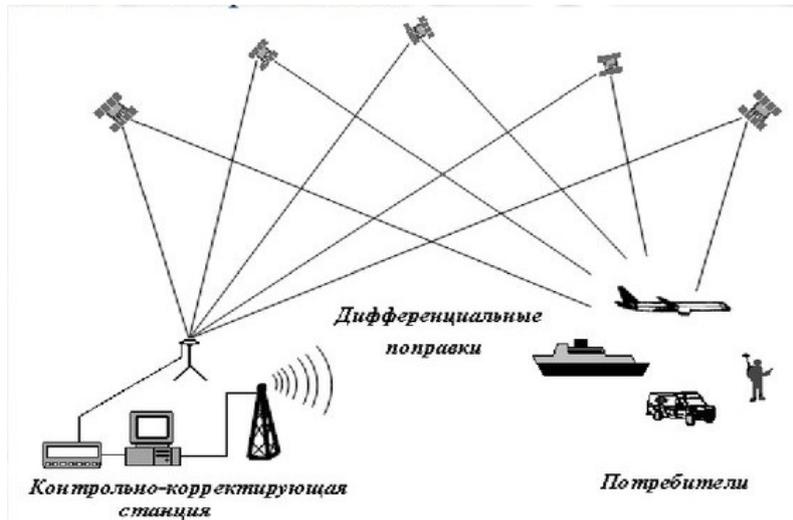


Рис. 31. Обслуживания SBAS

Поправки связываются со спутником SBAS, а затем транслируются на приемники ГНСС по всей зоне действия SBAS.

Пользовательское оборудование получает поправки и применяет их к расчетам диапазона.

В следующих разделах представлен обзор некоторых служб SBAS, которые были внедрены по всему миру или запланированы.

Система увеличения широкого пространства

Федеральное управление гражданской авиации США (FAA) разработало систему масштабного увеличения площади (WAAS) для обеспечения корректировок GPS и сертифицированного уровня целостности авиационной промышленности, чтобы позволить воздушным судам проводить точные подходы к аэропортам. Эти исправления также предоставляются бесплатно гражданским пользователям в Северной Америке.

Широкополосная главная станция (WMS) получает данные GPS от широкополосных опорных станций (WRS), расположенных по всей территории Соединенных Штатов. WMS вычисляет дифференциальные поправки, а затем связывает их с двумя геостационарными спутниками WAAS для трансляции по всей территории Соединенных Штатов.

Отдельные поправки рассчитываются для ионосферной задержки, спутникового времени и спутниковых орбит, что позволяет корректировать ошибки отдельно, при необходимости, пользовательским приложением.

WAAS транслирует данные коррекции на той же частоте, что и GPS, что позволяет использовать то же самое приемное и антенное оборудование, что и для GPS. Для получения данных коррекции пользовательское оборудование должно находиться в прямой видимости с одним из спутников WAAS.

Европейская геостационарная навигационная накладная служба

Европейское космическое агентство в сотрудничестве с Европейской комиссией (ЕК) и Евроконтролем (Европейская организация по безопасности аэронавигации) разработало европейскую геостационарную навигационную накладную службу (EGNOS) – систему усиления, позволяющую повысить точность определения местоположения на основе сигналов GPS и предупреждающую пользователей о надежности сигналов GPS.

Три спутника EGNOS охватывают страны-члены Европейского Союза и ряд других стран Европы. EGNOS передает данные дифференциальной коррекции для общественного пользования, и был аттестован для применения безопасности жизни. Спутники EGNOS также были размещены над восточным Атлантическим океаном, Индийским океаном и африканским средним континентом.

Спутниковая навигационная система усиления MTSAT

MSAS – это SBAS, предоставляющий услуги по увеличению в Японию. Он использует два многофункциональных транспортных спутника (MTSAT) и сеть наземных станций для усиления сигналов GPS в Японии.

GPS-Aided Geo дополненная навигационная система

GAGAN – то SBAS, поддерживающий навигацию по полету над воздушным пространством Индии. Система базируется на трех геостационарных спутниках, 15 опорных станциях, установленных на всей территории Индии, трех станциях восходящей связи и двух центрах управления. GAGAN совместим с другими системами SBAS, такими как WAAS, EGNOS и MSAS.

Система дифференциальных поправок и контроля

Российская Федерация разрабатывает SDCM для обеспечения России повышения точности и контроля целостности как для навигационных систем ГЛОНАСС, так и для навигационных систем GPS. К 2016 году Российская Федерация планирует обеспечить покрытие L1 SBAS для всей территории России, а к 2018 году – покрытие L1/L5. SDCM также будет предоставлять услуги точного позиционирования точек (PPP) для ГЛОНАСС L1/L3 к 2018 году.

Другие системы SBAS

Китай планирует использовать SNAS (спутниковую навигационную систему усиления), чтобы обеспечить WAAS – подобный сервис для китайского региона.

Наземная система усиления

Наземная система усиления (GBAS) обеспечивает дифференциальные поправки и мониторинг целостности спутника для приемников, использующих УКВ-радиолинию. Также известный как локальная система увеличения площади (LAAS), GBAS состоит из нескольких антенн ГНСС, расположенных в известных местах, центральной системы управления и УКВ-радиопередатчика.

GBAS занимает относительно небольшую площадь (по стандартам ГНСС) и используется для приложений, требующих высокого уровня точности, доступности и целостности. Аэропорты являются примером приложения GBAS.

5.4. Кинематический в реальном масштабе времени

Метод позиционирования, описанный в лекции 2, называется кодовым позиционированием, поскольку приемник коррелирует с псевдослучайными кодами, передаваемыми четырьмя или более спутниками, и использует их для определения дальности до спутников. Из этих диапазонов и зная, где находятся спутники, приемник может установить свое положение с точностью до нескольких метров.

Что такое RTK (кинематика в реальном времени)?

RTK стоит для реального времени кинематического и представляет собой метод, который использует несущую ранжирование и обеспечивает диапазоны (и, следовательно, позиции), которые являются на порядки более точными, чем те, которые доступны через кодовое позиционирование. Методы RTK являются сложными. Основная концепция состоит в том, чтобы уменьшить и удалить ошибки, общие для базовой станции и пары rover (рис. 32).

Точность RTK GPS: какая точность является RTK?

RTK использовано для применений, которые требуют более высокой точности, как сантиметр-ровный располагать, точность до $1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$.

Расчет диапазона

На самом базовом концептуальном уровне диапазон вычисляется путем определения числа несущих циклов между спутником и станцией марсохода, а затем умножения этого числа на длину волны несущей.

Расчетные диапазоны по-прежнему включают ошибки от таких источников, как спутниковые часы и эфемериды, а также ионосферные и тропосферные задержки. Чтобы устранить эти ошибки и воспользоваться преимуществами точности измерений на основе несущей, производительность RTK требует, чтобы измерения передавались с базовой станции на станцию rover.

Для определения числа целых циклов необходим сложный процесс, называемый «разрешением неоднозначности». Несмотря на то, что это

сложный процесс, высокоточные приемники ГНСС могут решить неоднозначности почти мгновенно.

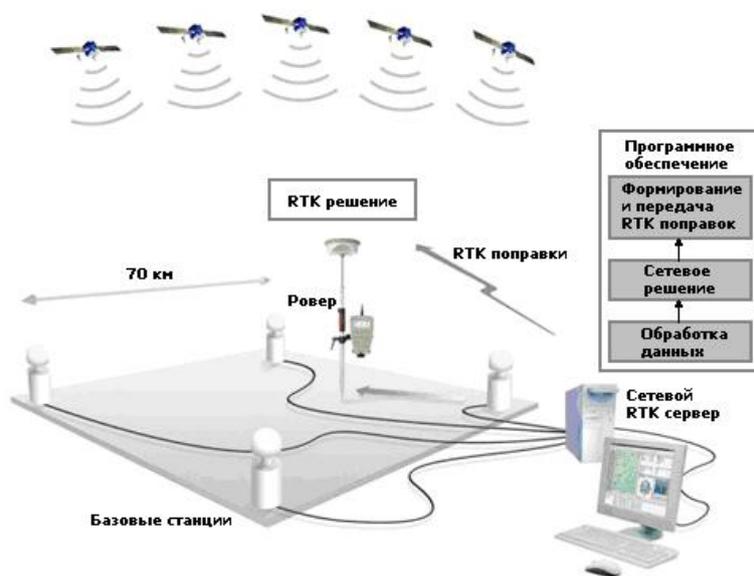


Рис. 32. Расчет диапазона

Роверы определяют свое положение с помощью алгоритмов, которые включают разрешение неоднозначности и дифференциальную коррекцию. Как и DGНСС, точность позиционирования, достижимая марсоходом, зависит, среди прочего, от его расстояния до базовой станции (называемой «базовой линией») и точности дифференциальных поправок. Поправки являются столь же точными, как известное местоположение базовой станции и качество спутниковых наблюдений базовой станции. Выбор объекта имеет значение для минимизации воздействия на окружающую среду, таких как помехи и многолучевость, а также качество базовой станции и приемников и антенн rover.

Сеть RTK

Сеть RTK основана на использовании нескольких широко разнесенных постоянных станций. В зависимости от реализации, данные о местоположении от постоянных станций регулярно передаются на центральную станцию обработки. По требованию от терминалов пользователя RTK, которые передают свое приблизительное местоположение на центральную станцию, Центральная станция вычисляет и передает информацию коррекции или исправленное положение на терминал пользователя RTK. Преимуществом такого подхода является общее сокращение числа требуемых базовых станций RTK. В зависимости от реализации, данные могут передаваться по сотовым радиоканалам или другим беспроводным носителям.

5.5. Точное позиционирование точки

Что такое точное позиционирование точки (PPP)?

PPP – это метод позиционирования, который удаляет или моделирует системные ошибки ГНСС для обеспечения высокого уровня точности позиционирования от одного приемника. Решение позиционирования высокой точности зависит от спутниковых часов ГНСС и поправок орбиты, генерируемых из сети глобальных опорных станций. После того, как поправки будут рассчитаны, они будут доставлены конечному пользователю через спутник или через Интернет. Эти поправки используются приемником, что приводит к дециметровому уровню или лучшему позиционированию без необходимости использования базовой станции.

Какова точность PPP?

PPP обеспечивает точность до 3 сантиметров. Типичное решение PPP требует определенного периода времени для достижения дециметровой точности для устранения любых локальных искажений, таких как атмосферные условия, многолучевая среда и геометрия спутника. Фактическая достигнутая точность и требуемое время сходимости зависят от качества поправок и того, как они применяются в приемнике.

Аналогично по структуре системе SBAS, система PPP обеспечивает коррекцию приемника для повышения точности позиционирования. Однако системы PPP обычно обеспечивают более высокий уровень точности и взимают плату за доступ к исправлениям. Системы также позволяют использовать единый поток коррекции во всем мире, в то время как системы SBAS являются региональными.

Основные источники ошибок для PPP устраняются следующими способами:

1. Двухчастотная работа: ионосферная задержка первого порядка пропорциональна частоте несущей волны. Таким образом, ионосферная задержка первого порядка может быть полностью устранена с помощью комбинаций двухчастотных ГНСС-измерений;

2. Данные по коррекции внешних ошибок: это включает спутниковые коррекции орбиты и часов. В случае Службы TerraStar произведенные корректировки транслируются конечным пользователям с помощью телекоммуникационных спутников Inmarsat;

3. Моделирование: тропосферная задержка корректируется с помощью модели UNB, разработанной Университетом Нью-Брансуика. Однако влажная часть тропосферной задержки сильно варьирует и не может быть смоделирована с достаточной точностью. Таким образом, остаточная тропосферная задержка оценивается при оценке положения и других неизвестных величин. Моделирование также используется в приемнике PPP для коррекции эффекта приливов твердой земли;

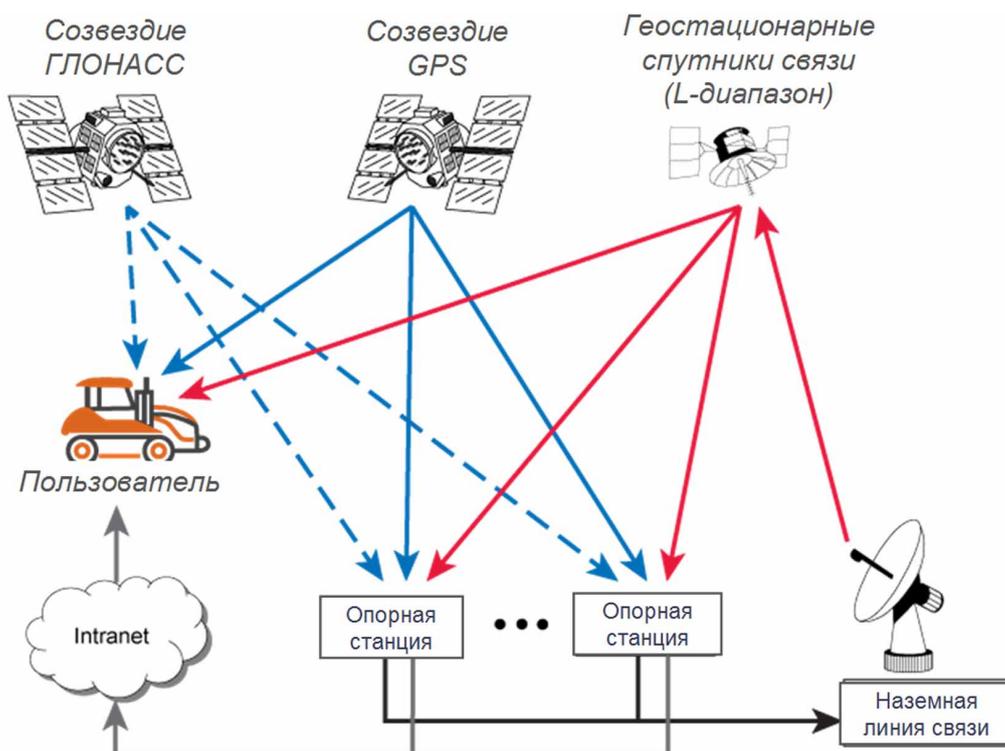


Рис. 33. Типичная система PPP

4. Алгоритмы фильтра PPP: для оценки PPP используется расширенный фильтр Калмана (ЕКФ). Оценены положение, ошибка синхронизации приемника, тропосферная задержка и неоднозначности несущей фазы состояний ЕКФ. ЕКФ уменьшает шум в системе и позволяет оценить положение с сантиметровой точностью. Оценки для состояний ЕКФ улучшаются с помощью последовательных измерений ГНСС, пока они не будут сходиться к стабильным и точным значениям. Типичное время сходимости PPP до уровня менее 10 см горизонтальной погрешности составляет от 20 до 40 минут, но оно зависит от количества доступных спутников, геометрии спутника, качества продуктов коррекции, многолучевости приемника и атмосферных условий.

Существует несколько поставщиков услуг PPP, в том числе VERIPOS, TerraStar, OmniSTAR и StarFire. Поставщики услуг PPP управляют сетью наземных опорных станций для сбора данных коррекции для различных сигналов, транслируемых каждым спутником. Поправки, рассчитанные на основе этих данных, транслируются с геостационарных спутников на приемники подписанных пользователей.

5.6. Постобработка данных глобальной навигационной спутниковой системы

Для многих применений, таких как воздушная съемка, скорректированные положения ГНСС не требуются в режиме реального времени. Для этих целей необработанные спутниковые измерения ГНСС собираются и хранятся для обработки после завершения миссии. В отличие от позицио-

нирования RTK ГНСС, постобработка не требует передачи сообщений дифференциальной коррекции в реальном времени. Это значительно упрощает конфигурацию аппаратного обеспечения.

Во время постобработки данные базовой станции могут быть использованы с одного или нескольких приемников ГНСС. Мульти-основание, обрабатывая помощь, сохраняет высокую точность над большими зонами проекта, которая общее возникновение для воздушных применений. В зависимости от близости проекта к постоянно действующей сети ГНСС, данные базовой станции часто могут быть свободно загружены, устраняя необходимость в создании собственной базовой станции. Кроме того, можно обрабатывать без каких-либо данных базовой станции через PPP, который использует загруженные точные часы и эфемерные данные.

Приложения для постобработки предлагают большую гибкость. Приложения могут включать в себя стационарные или движущиеся базовые станции, а также некоторую интеграцию поддержки с клиентскими или сторонними программными модулями. Приложения для постобработки могут быть разработаны для работы на персональных компьютерах, доступных через простые в использовании графические интерфейсы пользователя.

В примере (рис. 34), маршрут движения транспортного средства показан в левой части экрана, а измерения, записанные во время полета, такие как скорость, разделенные на горизонтальные и вертикальные составляющие, показаны в правой части экрана.

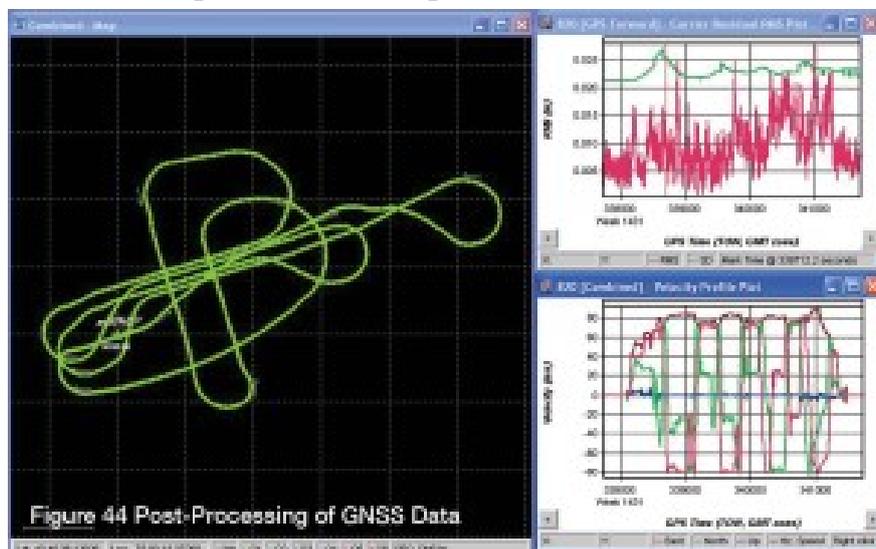


Рис. 34. Маршрут движения транспортного средства

Постобработка обычно приводит к более точному, всеобъемлющему решению, чем это возможно в режиме реального времени.

Как обсуждалось в начале этой главы, нет лучшего метода коррекции ГНСС, только метод, который лучше всего подходит для предполагаемого применения. На рис. 35 сравнивается точность и практический диапазон использования для каждого из методов, рассмотренных в этой лекции. В следующих разделах приводятся сравнения между методами коррекции.

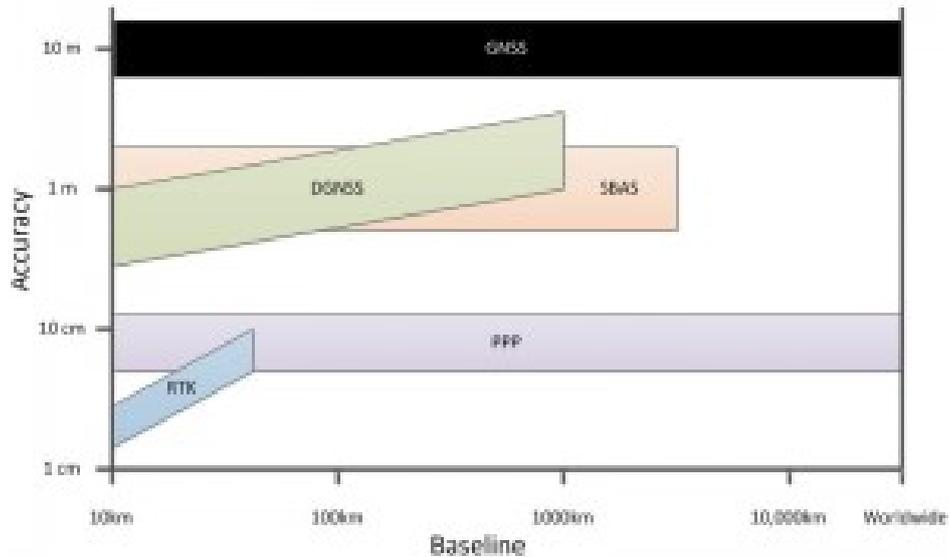


Рис. 35. Сравнение точности и практического диапазона использования

ДГНСС и RTK

Конфигурация дифференциальных систем ГНСС (ДГНСС) и RTK сходна в том, что оба метода требуют установки приемника базовой станции в известном месте, приемника rover, который получает поправки от базовой станции и линии связи между двумя приемниками. Разница заключается в том, что RTK (метод несущей фазы) значительно более точен, чем ДГНСС (метод на основе кода).

Преимущество ДГНСС заключается в том, что он полезен по сравнению с более длинной базовой линией (расстояние между базовой станцией и приемниками rover), а система ДГНСС является менее дорогостоящей. Технология требуемая, что достигнуть более высокой точности представления RTK делает цену RTK-способного приемника более высоко чем одно которое ДГНСС-способно только.

SBAS и PPP

Система SBAS и система PPP похожи тем, что обе системы получают поправки от спутников. Однако система PPP является значительно более точной, чем система SBAS. Частью преимущества точности является метод коррекции. Системы PPP используют метод фазы несущей, а системы SBAS – метод кода. Другая часть преимущества точности заключается в том, что частные службы коррекции, обычно используемые системами PPP, обеспечивают более высокое качество коррекции и являются много-частотными, многоконфликтными.

Преимуществом систем SBAS является то, что услуги по исправлению являются бесплатными для всех пользователей. В то время как частные службы исправлений обеспечивают более высокое качество исправлений и доступны во всем мире, для доступа к сигналам требуется платная подписка. Кроме того, поскольку SBAS является методом на основе кода, нет никаких неясностей для разрешения и полная точность SBAS доступна

почти сразу. Системы PPP требуют времени для сближения (устранения неоднозначностей), прежде чем будет доступна полная точность.

ДГНСС и SBAS

Хотя точность ДГНСС и SBAS одинакова, оборудование, необходимое для систем, отличается.

Система SBAS требует только приемника SBAS способного и антенны ГНСС. Система ДГНСС требует наличия приемника и антенны базовой станции, приемника и антенны марсохода и канала связи между базовой станцией и марсоходом. Кроме того, система ДГНСС требует дополнительной настройки системы, поскольку базовая станция должна находиться в известном месте.

RTK и PPP

Как ДГНСС и SBAS, RTK и PPP предлагают подобные точности, но необходимое оборудование и установка различны.

Система RTK предлагает более высокую точность и быструю инициализацию, но является более сложной для настройки и более дорогой. Система RTK требует по крайней мере двух приемников с поддержкой RTK (одна базовая станция и один или несколько марсоходов), антенну ГНСС для каждого приемника и канал связи между приемниками. Кроме того, для достижения высокого уровня точности базовая станция должна быть очень точно настроена в известном месте.

Система PPP имеет более простую конфигурацию; один приемник, совместимый с PPP, антенна, способная принимать частоты ГНСС и L-диапазона и подписку на поставщика услуг коррекции. Однако PPP имеет несколько более низкую точность и более длительное время начальной конвергенции.

Еще одним дифференцирующим фактором является длина базовой линии. Расстояние между базовой станцией и марсоходом (базовая длина) в системе RTK напрямую влияет на точность системы. На коротких длинах базовой линии, несколько километров, RTK очень точен. Однако по мере увеличения длины базовой линии точность и доступность решения уменьшаются. На длинных длинах базиса RTK нельзя использовать. Поскольку PPP не использует базовую станцию, она не зависит от длины базовой линии и может обеспечить полную точность в любой точке мира.

ГЛАВА 6. ГЛОБАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ +INS

6.1. Системы GNSS+INS

Как уже говорилось, ГНСС использует сигналы с орбитальных спутников для вычисления положения, времени и скорости. ГНСС-навигация обладает отличной точностью при условии, что антенна имеет прямой обзор видимости, по крайней мере, до четырех спутников. Когда линия визирования к спутникам преграждена затруднениями как деревья или здания, навигация будет ненадежной или невозможной (рис. 36).

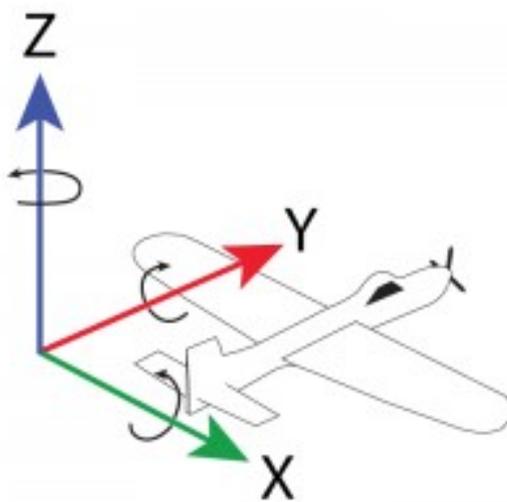


Рис. 36. Системы GNSS+INS

Инерциальная навигационная система (ИНС) использует информацию о вращении и ускорении от инерциального измерительного блока (иду) для вычисления относительного положения во времени. Иду состоит из шести дополнительных датчиков, расположенных на трех ортогональных осях. На каждой из трех осей соединены акселерометр и гироскоп. Акселерометры измеряют линейное ускорение, а гироскопы – вращательное ускорение. С этими датчиками, IMU (Inertial measurement unit – Инерционное измерительное устройство) может измерить свое точное относительное движение в космосе 3D. INS использует эти измерения для того чтобы высчитать положение и скорость. Дополнительное преимущество измерений IMU они обеспечивают угловое разрешение о 3 осях. INS переводит это угловое разрешение в разрешение местной ориентации (крена, тангажа и азимута) которое оно может обеспечить в дополнение к положению и скорости.

Способность INS обеспечить определение ориентации является важным дополнением для нескольких применений, таких как аэрофотосъемка и гидрография. Например, при аэрофотосъемке важно не только знать, где находилась камера, когда был сделан снимок, но и под каким углом она находилась относительно Земли.

Иду снабжает эти ускорения и вращения система ИНС как дискретные измерения на специфической частоте. Как правило, системы INS работают со скоростью от 50 до 1000 Гц, хотя большинство IMU способны осуществлять выборку своих данных с гораздо более быстрыми темпами.

Конечно, все системы, включая IMUs и, следовательно, INS, имеют свои собственные недостатки. Во-первых, INS предоставляет только относительное решение от начальной точки. Эта начальная точка должна быть предоставлена INS. Во-вторых, и это более важно, высокочастотные измерения, предоставляемые иду, включают в себя несколько источников ошибок. В зависимости от качества (т. е. стоимости/размера) иду эти погрешности могут быть достаточно большими относительно регистрируемых фактических измерений. Навигация в трехмерном пространстве с помощью IMU – это эффективное суммирование (или интегрирование) сотен/тысяч выборок в секунду, в течение которых также накапливаются ошибки. Это означает, что нескорректированная система INS будет быстро дрейфовать от истинного положения без внешней ссылки. Предоставление внешней ссылки на ИНС позволяет ему оценивать погрешности измерений иду с помощью математического фильтра и смягчать их влияние.

Эта внешняя ссылка может быть довольно эффективно предоставлена ГНСС. ГНСС предоставляет абсолютный набор координат, которые можно использовать в качестве начальной точки. Кроме того, ГНСС обеспечивает непрерывные положения и скорости после этого, которые используются для обновления оценок фильтра INS. Когда ГНСС компрометируется из-за помех сигналу, система INS может продолжать эффективно перемещаться в течение более длительных периодов времени.

Использование положений и скоростей ГНСС для оценки ошибок INS называется "слабо связанной" системой. Однако комбинированные системы ГНСС+INS могут быть гораздо более сложными, чем это. Различные термины, такие как «тесно связанный» или «глубоко связанный», ясно указывают на гораздо более симбиотические отношения между ними. В этих системах измерения raw ГНСС используются непосредственно для помощи INS, и INS можно даже использовать в качестве ограничения, чтобы помочь ГНСС более быстро получить потерянные сигналы или отклонить плохие сигналы. На рисунке 37 показана упрощенная схема плотно связанной системы.

Таким образом, при объединении ГНСС и ИНС эти два метода дополняют друг друга, обеспечивая эффективное навигационное решение (рис. 38). Когда условия ГНСС хорошие (линия визирования к нескольким спутников), приемник ГНСС обнаружит точное положение и время навигационная система. Когда условия ГНСС становятся плохими, INS обеспечивает положение и навигацию до тех пор, пока условия ГНСС не улучшатся.

Упрощенная схема системы передачи сообщений:

ИС - источник сообщений; ПС - приёмник сообщений

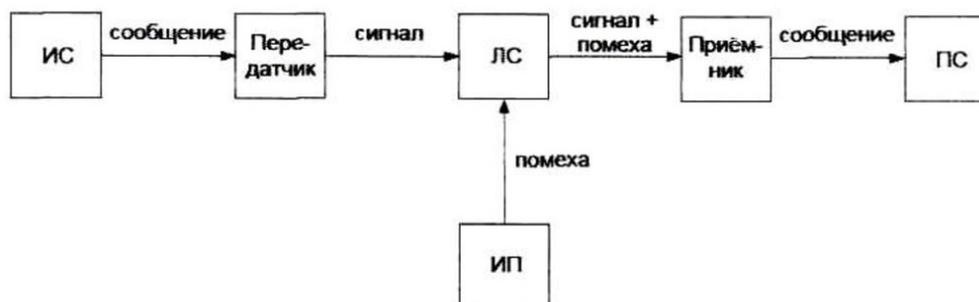


Рис. 37. Упрощенная схема плотно связанной системы

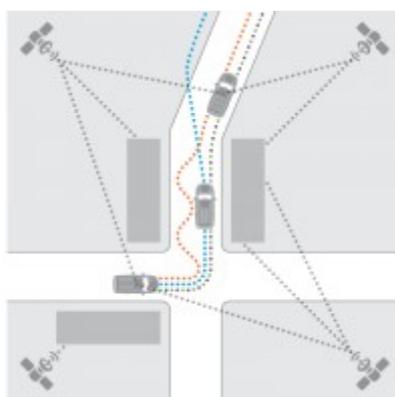


Рис. 38. Обеспечение эффективности навигационного решения

Одометры

ГНСС – это не единственный полезный входной сигнал для помощи инерциальной навигации. Для различных окружающих сред, можно добавлять различные датчики, чтоб помогли решению. Общим внешним датчиком для наземных транспортных средств является добавление одометра. Это обеспечивает еще одно независимое измерение перемещения и скорости, которое может помочь навигационному решению ГНСС+INS. Это в основном используется, когда сигнал ГНСС недоступен, например, при перемещении по туннелю.

Фотограмметрия

Еще одним потенциальным источником помощи является использование фотограмметрии или использование зрительной навигации. В навигационной системе снимки используются для предоставления навигационной системе информации о местоположении. Изображения с камеры обрабатываются навигационной системой для распознавания и отслеживания объектов в окружающей среде.

Есть два способа, которыми это можно использовать. Известные наблюдаемые цели камеры могут быть использованы для получения абсолютного положения в определенной среде или повседневные объекты могут быть использованы в качестве контрольных точек; когда объект распознается системой, относительное изменение последовательных изображений может быть использовано для получения относительного изменения положения камеры в 3D-пространстве.

Это означает, что система vision aided (EVS) – это аппаратно-программная система, которая формирует и выводит на систему индикации визуально-улучшенное изображение. Это может быть объединена с системой ГНСС+INS для обеспечения обновления позиции и отношения к INS, когда обновления ГНСС недоступны. Примером применения автоматизированной навигационной системы vision является беспилотное транспортное средство, используемое для перевозки груза с улицы в помещение. Когда беспилотное транспортное средство находится снаружи, ГНСС+INS обеспечивает навигацию для транспортного средства. Когда внутри помещения, vision aided system использует известные функции/цели в здании, чтобы обеспечить обновление позиций для INS.

Слияние сенсоров

Термин, растущий в популярности в этой области, является «слияние датчиков». Все чаще это не просто ГНСС или даже ГНСС+INS, это объединение любой и всей доступной информации для создания наиболее надежного и точного решения, доступного в любых условиях. Все технологии входного сигнала, ГНСС, INS, камеры, одометры, цифровые модели высоты, датчики ряда, etc. принимаются во внимание.

6.2. Отказ глобальной навигационной спутниковой системы

Приемник не может обеспечить положение, навигацию или время, потому что сигналы ГНСС недоступны для приемника из-за помех, подмены, блокировки сигнала или отказа созвездия, как говорят, страдает от «отказа ГНСС».

Вмешательство

К тому времени, когда сигналы ГНСС передаются от спутников к приемнику, они находятся на очень низком уровне мощности. Этот низкий уровень мощности делает сигналы восприимчивыми к помехам от других сигналов, передаваемых в частотном диапазоне ГНСС. Если интерференционный сигнал является достаточно мощным, то приемник становится невозможным обнаружить сигнал ГНСС низкой мощности. Аналогия – это попытка вести беседу в комнате, где играет стерео. Если стерео играет очень громко, невозможно услышать разговор через музыку.

Если сигнал исходит от непреднамеренного источника, такого как неисправное радиоборудование, он называется помехой. Если сигнал преднамеренно передается в частотном диапазоне ГНСС, он называется

помехой. Приемники ГНСС используют несколько методов для защиты от помех и заклинивания.

Антенны (заглушающие сигналы)

Антенные системы защиты от помех, состоящие из управляемых приемных антенн с диаграммой направленности (СРРА) и сложной электроники, используют несколько антенных элементов для управления количеством сигнала, полученного с определенного направления. Когда система защиты от помех воспринимает помехи с одного направления, она уменьшает коэффициент усиления антенны, аналогично уменьшению громкости, для этого направления. Это уменьшает количество полученных помех, так что законные сигналы ГНСС могут быть получены с других направлений.

На рисунке 39 показаны два автомобиля в диапазоне действия глушителя ГНСС. Автомобиль справа имеет стандартную антенну, и сигналы ГНСС подавляются глушителем. Автомобиль слева имеет антенную защиту от помех, которая блокирует сигнал помех, поэтому сигналы ГНСС могут быть приняты.

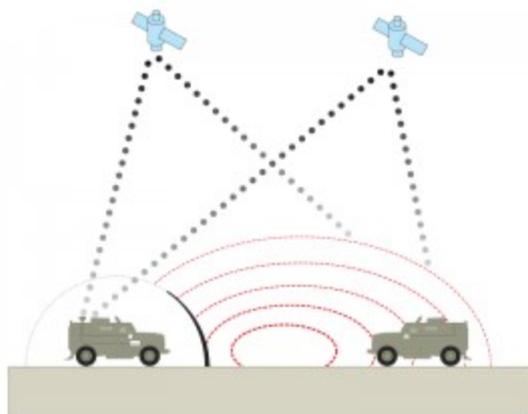


Рис. 39. Диапазон действия глушителя ГНСС

Если мешающий сигнал имеет узкую полосу пропускания, приемники ГНСС могут защитить от помех путем отслеживания нескольких частот и нескольких созвездий. Например, если интерференция находится в диапазоне от 1550 до 1600 МГц, GPS L1 будет заблокирован. Однако приемник по-прежнему может обеспечивать положение, навигацию и время, если приемник может отслеживать GPS L2 или L5, ГЛОНАСС L2 или Galileo E5.

Множество навигационных датчиков

Для кратковременных помех дополнительные навигационные датчики, такие как инерциальные измерительные блоки, одометры или высотомеры, могут помочь приемному модулю в короткие периоды простоя ГНСС.

Спуфинг

В отличие от интерференции, где ГНСС отрицается путем подавления сигнала ГНСС, спуфинг обманывает приемник в сообщении неверного местоположения или времени путем введения ложного сигнала, который либо создается генератором сигналов, либо является ретрансляцией реального

записанного сигнала ГНСС. Кроме того, в отличие от вмешательства, подмена всегда является преднамеренной атакой.

Чтобы запретить ГНСС подмены, злоумышленник передает сигнал с той же структурой и частотой, что и сигнал ГНСС. Спуфинговый сигнал контролирует свой уровень передаваемой мощности, поэтому приемник будет фиксироваться на поддельном сигнале, а не на реальном сигнале ГНСС. В поддельном сигнале сообщение изменяется таким образом, что приемник вычислит неверное положение или время.

Наиболее эффективным способом защиты от спуфинга является отслеживание зашифрованного сигнала (например, сигнала Y-кода на GPS L1 и L2), который транслируется несколькими созвездиями ГНСС. Доступ к зашифрованным сигналам ограничен и доступен не всем пользователям, однако существуют методы смягчения, которые могут быть использованы с открытыми приемниками сигналов.

Спуфинг сигналов ГНСС является сложным и требует сложного оборудования. Он также обычно нуждается в информации о скорости цели. Сложность спуфинга значительно возрастает, если злоумышленник пытается одновременно спуфовать более одной частоты ГНСС или созвездия. Таким образом, приемник, который может отслеживать несколько частот и/или несколько созвездий, может быть использован для обнаружения и преодоления возможной попытки подмены.

Кроме того, другие навигационные датчики, такие как ГНСС+INS, могут использоваться для обнаружения и преодоления попытки подмены, поскольку сигналы от ИДУ не могут быть подменены.

Блокировка сигнала

Приемник ГНСС должен иметь четкую линию визирования к спутникам, которые он отслеживает. Если линия визирования к спутнику преграждена объектами как здания, деревья, мосты, то ЕТС., приемник не может принимать сигналы от этого спутника. В местах, где есть много препятствий, таких как центральная часть большого города, препятствия могут блокировать так много спутников, что приемник не может вычислить свое положение или время.

Одно из решений для блокирования сигнала заключается в том, чтобы приемник отслеживал более одного созвездия. При отслеживании более чем одного созвездия будет доступно больше спутников и больше шансов найти достаточное количество спутников для определения положения и времени. Использование нескольких навигационных датчиков, таких как IMUs, помогает не только в устранении сбоя, таких как те, которые вызваны блокировкой сигнала, но и в повторном исследовании сигналов ГНСС после сбоя.

Отказ созвездия

Хотя крайне маловероятно, что все созвездие потерпит неудачу, приемники, которые могут отслеживать более одного созвездия, обеспечивают защиту от этого маловероятного сценария.

С учетом того, что многие технологии и приложения, зависящие от ГНСС, обеспечивают положение, навигацию и время, тема отказа ГНСС становится все более важной.

6.3. Применение и оборудование глобальной навигационной спутниковой системы

Применение ГНСС произвело революцию и будет продолжать производить революцию в том, как работают предприятия и правительства, а также в том, как мы ведем нашу личную жизнь.

Приложение ГНСС используют: потребитель, наземное картографирование, перевозка, гис, управление машиной, автоматизация портов, точное земледелие, синхронизация, строительство, морской, добыча полезных ископаемых, беспилотные транспортные средства, обследовать, безопасность, аэрофотограмметрия.

Потребитель

Технология ГНСС была принята потребительским рынком, в постоянно растущем ассортименте продукции.

Приемники ГНСС теперь обычно интегрированы в смартфоны, чтобы поддерживать приложения, которые отображают карты, показывающие местоположение и лучший маршрут до магазинов и ресторанов.

Портативные навигационные устройства позволяют водителям определять направление движения на дороге или вне ее (рис. 40).

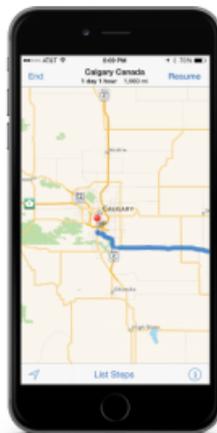


Рис. 40. Пример навигационной карты в мобильном устройстве

Геокейшинг – это активный отдых, в котором участники используют приемник ГНСС для скривтия и поиска контейнеров (называемых «тайниками») или «тайниками») по всему миру.

В настоящее время большинство потребительских продуктов ГНСС основаны на GPS, но это изменится по мере внедрения большего числа ГНСС-созвездий.

Перевозка

В железнодорожном транспорте ГНСС используется совместно с другими технологиями, для отслеживания местоположения локомотивов и желез-

нодорожных вагонов, ремонтных транспортных средств и придорожного оборудования, для отображения на центральных пультах мониторинга. Знание точного местоположения рельсового оборудования снижает аварийность, задержки и эксплуатационные расходы, повышая безопасность, пропускную способность пути и качество обслуживания клиентов.

В авиации ГНСС используется для навигации воздушных судов от вылета, в пути, до посадки. ГНСС облегчает навигацию воздушных судов в отдаленных районах, которые плохо обслуживаются наземными навигационными средствами, и является важным компонентом систем предотвращения столкновений и систем, используемых для улучшения подходов к взлетно-посадочным полосам аэропорта.

В морских перевозках ГНСС используется для точного определения положения судов, когда они находятся в открытом море, а также когда они маневрируют в перегруженных портах. ГНСС включена в подводный исследователь, располагать потом буй, положение опасности навигации, драгировать, и составлять карту.

В наземном транспорте в настоящее время во всем мире используются системы определения местоположения транспортных средств и навигации внутри транспортных средств. Многие транспортные средства оснащены навигационными дисплеями, которые накладывают местоположение и статус транспортного средства на карты. ГНСС используется в системах, которые отслеживают и прогнозируют движение грузов и контролируют дорожные сети, повышая эффективность и повышая безопасность водителей.

Автоматизация портов

Используя ГНСС, транспортные узлы могут повысить эффективность своей работы, отслеживая перемещение и размещение контейнеров на своих верфях.

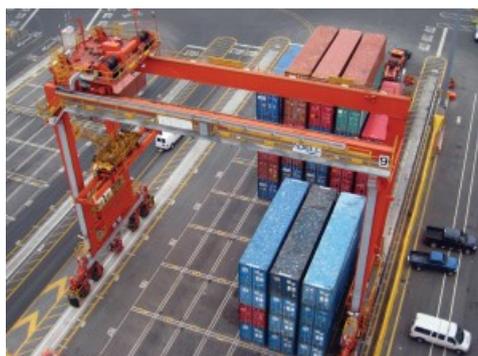


Рис. 41. Автоматизация портов

Портальные краны используются в портах по всему миру для подъема грузовых контейнеров (рис. 41). Эти краны большие и иногда трудно управлять точно в переполненном судоходном доке. Многие краны оснащены рулевыми устройствами ГНССbased, которые определяют положение крана и поддерживают его движение в нужном направлении, повышая точность и производительность, а также безопасность операторов и рабочих на земле. Ключевым преимуществом является быстрое перемещение

контейнеров по порту, что снижает порчу продуктов питания и позволяет вовремя доставлять груз.

Управление машиной

Технология ГНСС интегрируется в такое оборудование, как бульдозеры, экскаваторы, грейдеры, асфальтоукладчики и сельскохозяйственная техника, чтобы повысить производительность в режиме реального времени работы этого оборудования и обеспечить оперативную информацию о ситуации для оператора оборудования. Внедрение системы управления станками на основе ГНСС аналогично более раннему внедрению гидравлической технологии в машиностроении, что оказало глубокое влияние на производительность и надежность.

Некоторые преимущества управления станком на основе ГНСС представлены ниже:

1) **эффективность:** помогая оператору оборудования быстрее добраться до нужного класса, ГНСС помогает ускорить работу, снижая капитальные и эксплуатационные расходы.

2) **точность:** точность достижимая ГНССbased разрешениями уменьшает потребность остановить работу пока съемочная группа измеряет ранг.

3) **управление работой:** менеджеры и подрядчики имеют доступ к точной информации о рабочем месте, и информацию можно просматривать удаленно.

4) **управление данными:** пользователи могут распечатывать отчеты о состоянии, сохранять важные данные и передавать файлы в головной офис.

5) **обнаружение кражи:** ГНСС позволяет пользователям определить «виртуальный забор» о своем оборудовании и имуществе, с целью автоматического поднятия тревоги, когда оборудование удаляется, а затем предоставления информации об отслеживании оборудования в органы власти.

Точное земледелие

В точном земледелии, основанные на ГНСС применения использованы для того чтобы поддержать планирование фермы, отображение поля, забор почвы, наведение трактора, и оценку урожая. Более точное применение удобрений, пестицидов и гербицидов снижает стоимость и экологическое воздействие. Приложения ГНСС могут автоматически направлять сельскохозяйственные орудия вдоль контуров земли таким образом, чтобы контролировать эрозию и максимизировать эффективность оросительных систем. Сельскохозяйственная техника может работать на более высоких скоростях, днем и ночью, с повышенной точностью (рис. 42). Такая повышенная точность позволяет экономить время и топливо, а также максимально повысить эффективность работы. Безопасность оператора также увеличена значительно уменьшая усталость.



Рис. 42. Точное земледелие

Строительство

Информация ГНСС может использоваться для позиционирования режущей кромки лезвия (например, на бульдозере или грейдере) или ковша (экскаватора) и для сравнения этого положения с трехмерным цифровым дизайном для вычисления количества вырезов/заливок. «Система индикации» предоставляет оператору визуальную информацию о выреze/заливке с помощью дисплея или световой панели, и оператор вручную перемещает лопасть или ковш машины, чтобы получить оценку. Автоматические системы для бульдозеров / грейдеров используют данные отрезка/заполнения для того чтобы управлять гидравлическими управлениями машины автоматически для того чтобы двинуть лезвие машины к рангу. Использование 3D-управления станком значительно сокращает количество геодезических стоек, необходимых на рабочем месте, сокращая время и затраты. Исследования производительности неоднократно показывали, что использование 3D-управления станком приводит к тому, что работы выполняются быстрее, точнее и со значительно меньшим количеством переделок, чем обычные методы строительства.

Добыча полезных ископаемых

Информация ГНСС используется для эффективного управления добычей рудного тела и перемещением отходов. Оборудование ГНСС, установленное на экскаваторах и тягачах, обеспечивает передачу информации о местоположении в компьютеризированную диспетчерскую систему для оптимального направления тягачей к каждой лопате и обратно. Информация о местоположении также используется для отслеживания каждого ковша материала, извлеченного лопатой, чтобы убедиться, что он направляется в соответствующее место в шахте (дробилка, свалка отходов, выщелачивающая площадка). Информация о местоположении используется сверлами взрывных скважин для улучшения трещиноватости горного материала и контроля глубины каждого пробуренного отверстия, чтобы поддерживать уровень стендов. Мультиконstellляция ГНСС особенно выгодна в условиях наземной добычи полезных ископаемых из-за препятствий, вызванных стенами шахты. Больше спутников означает больше доступности сигнала.

Автоматизированное бурение шпуров

Автоматизированные сверла используются в наземных шахтах для повышения безопасности и производительности труда. Один оператор, расположенный в более безопасном диспетчерском пункте, может управлять и контролировать до пяти автоматизированных сверл (рис. 43).



Рис. 43. Автоматизированные сверла

Взрывные отверстия, просверленные автоматизированными сверлами, должны быть очень точными как по горизонтали, так и по вертикали. Положение отверстий (горизонтальная точность) имеет решающее значение для контроля фрагментации горных пород. Фрагменты породы, которые слишком велики или слишком мелки, могут увеличить износ на дробилках породы, используемых для обработки материала. Глубина отверстия (вертикальная точность) важна для создания плоского стенда.

РТК обеспечивает точное позиционирование, необходимое для точного определения местоположения взрывных отверстий. Высадка обеспечивает выравнивание сверла, чтобы убедиться, что отверстия просверлены перпендикулярно. Приемники Multi-constellation компенсируют засорения сигнала общие в окружающей среде высокой стены типичной поверхностных шахт.

Геодезия

Геодезия на основе ГНСС позволяет сократить объем оборудования и трудовых ресурсов, необходимых для определения положения точек на поверхности Земли, по сравнению с предыдущими методами геодезии. Используя ГНСС, один геодезист может выполнить за один день то, что могло бы занять съемочную группу из трех человек в неделю (рис. 44).

Определение нового положения съемки когда-то требовало измерения расстояний и пеленгов от существующей (известной) точки съемки до новой точки. Это требовало проведения измерений с использованием теодолитов для измерения угловых разностей и металлических «цепей» (длинных тяжелых рулеток), натягиваемых с целью минимизации провисания и точного измерения расстояний. Если бы новые и существующие точки съемки были разделены большим расстоянием, процесс включал бы несколько установок теодолита, а затем несколько угловых и дистанционных измерений.

Используя ГНСС, геодезисты теперь могут настроить базовую станцию ДГНСС или РТК над существующей точкой съемки и марсоход ДГНСС или РТК над новой точкой, а затем записать измерение положения на марсоходе.

Это упрощение показывает, почему геодезическая отрасль была одним из первых гражданских приемников технологии ГНСС.



Рис. 44. Использование в геодезии ГНСС

Сейсморазведочные датчики

При сейсмической съемке звуковые волны передаются от источника (взрывчатые вещества или громкоговоритель) через землю к массиву датчиков (геофонов). Знание точного местоположения и ориентации геофонов имеет решающее значение для успешной съемки.

Используя традиционные геофоны, размещение геофонов было двух-этапным процессом. Сначала команда исследует область и размещает маркеры для каждого геофона. Позже вторая команда размещает геофоны точно на отмеченных местах, а затем ориентирует их с помощью измерительного устройства направления, такого как компас.

Использование геофонов с поддержкой ГНСС устраняет необходимость в первом обследовании местности. Геофоны с поддержкой ГНСС имеют приемник ГНСС и двойные антенны, интегрированные в геофон.

Приемник и двойные антенны позволяют сейсмоприемнику не только определять свое точное местоположение, но и его ориентацию.

Аэрофотограмметрия

Аэрофотограмметрия относится к записи изображений Земли (фотографий, например) с возвышенного положения, таких как воздушное судно. Системы этого типа в настоящее время более широко называются «дистанционным зондированием», поскольку снимки могут быть получены с летательных аппаратов или со спутников.

В прошлом изображения должны были бы быть вручную скорректированы для ориентации, перспективы и высоты камеры и местоположения, а также вручную «склеены» вместе. Этот ручной процесс будет основан на точном выравнивании известных точек на соседних снимках.

Благодаря интеграции камеры с ГНСС и INS, теперь можно автоматизировать процесс, в режиме реального времени или после миссии, чтобы «передать» точность определения местоположения самолета, определенно-го из ГНСС, на изображение рис. 45.



Рис. 45. Пример снимка камеры спутника

Аэрофотоснимки используются в онлайн-системах карт, таких как Google Earth. Многие из нас нашли свои дома и, возможно, даже свои автомобили через эти приложения.

Технология ГНСС также была интегрирована с LiDAR (Light Detection and Ranging), оптической технологией дистанционного зондирования, используемой для измерения дальности до удаленных целей. Возможно изображение объекта или объекта вплоть до длины волны, которая на лидарных частотах составляет менее одной миллионной метра.

Картирование лесных пожаров

Для борьбы с лесными пожарами, пожарные должны знать расположение пожаров и любые горячие точки. С помощью самолета, оснащенного инфракрасным датчиком изображения и системой ГНСС+INS, местоположения пожаров и горячих точек могут быть проецированы на топографические или 3D-карты местности.

Наземное картографирование

Были разработаны продукты, которые принимают 360-градусные панорамные фотографии для поддержки представления геометрически правильных изображений на экране компьютера. Эти изображения непрерывны и точно расположены. Данные ГНСС записываются до того, как будут сделаны панорамные фотографии. Данные по положению и ориентации запрограммированы в камеры, позволяют на экране определению положений объектов в фотографиях, или измерениям между объектами.

Визуализация инфраструктуры

Используя Лидарную систему в сочетании с системой ГНСС+INS, пользователь может получить полную визуальную информацию о ключевых инфраструктурных объектах, таких как нефте-и газопроводы. Эта визуальная информация обеспечивает состояние, расположение и позиционирование инфраструктуры и связанных с ней активов. Он также помогает в планировании технического обслуживания и модификаций.

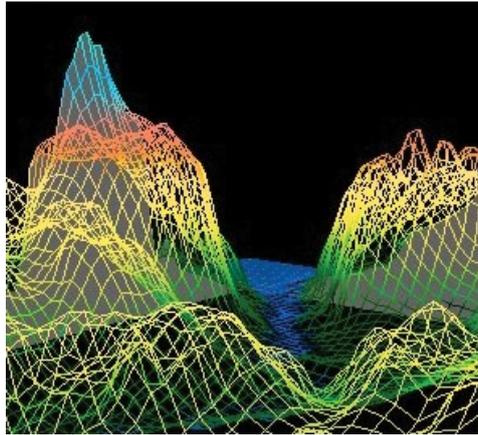


Рис. 46. Геопространственные информационные системы (ГИС)

Система геопространственной информации (ГИС) захватывает, хранит, анализирует, управляет и представляет данные, связанные с местоположением. Эти данные могут состоять, например, из экологических или ресурсных данных. ГИС также используется для отображения атрибутов для страховых компаний, муниципального планирования, коммунальных предприятий и других. Позиции, связанные с данными, могут быть предоставлены из приемника ГНСС. Приложения ГИС могут создавать детальные контурные карты на основе этих данных и представлять их в цифровой форме (рис. 46).

Применение времени

Точность времени имеет решающее значение для определения положения ГНСС. Именно поэтому спутники ГНСС оснащены атомными часами, точными до наносекунд. В рамках процесса определения местоположения местное время приемников ГНСС синхронизируется с очень точным спутниковым временем. На этот раз информация сама по себе имеет множество применений, включая синхронизацию систем связи, электрических сетей и финансовых сетей. ГНСС-производное время хорошо работает для любого приложения, где точное время необходимо для устройств, которые рассеяны по широкой области.

Сейсмические мониторы, синхронизированные со спутниковыми часами ГНСС, могут использоваться для определения эпицентра землетрясения путем триангуляции на основе точного времени обнаружения землетрясения каждым монитором.

Морское применение

В предисловии мы обсудили проблемы, с которыми сталкивались ранние исследователи, определяя свое положение в море. С появлением ГНСС эти проблемы в значительной степени исчезли.

Помимо кардинального улучшения морской навигации ГНСС применяется также в широком спектре морских применений, таких как позиционирование нефтеналивных судов, подводная кабельная и трубопроводная установка, инспекция, спасение и восстановление, а также дноуглубительные работы в портах и водных путях.

ГНСС-оборудованные Sonobuoys

Интересным применением ГНСС является использование гидроакустических буев, оснащенных ГНСС, в подводных гидроакустических системах.

Sonobuoys сбрасываются с самолетов над областью интереса, но оставляют плавать автономно. Сонобуи обнаруживают приближающиеся корабли и другие опасности в воде, передавая звуковые волны через воду, обнаруживая отражения от судов и объектов и определяя время, необходимое для получения «Эха». Данные поступают до поплавок sonobuoy затем передается, с данными позиционирования ГНСС, по радиосвязи с обзорным судном. Разведывательный корабль собирает и анализирует данные гидролокатора от большого числа гидроакустических буев, а затем определяет и отображает местоположение судов и объектов в интересующей зоне.

Картирование морского дна

Знание глубины морского дна в портах и судоходных каналах имеет решающее значение для безопасного морского судоходства. Карты портов и каналов создаются с помощью батиметрических гидролокаторных систем.

Батиметрические гидроакустические системы, установленные на морском судне, отражают звуковые волны от морского дна для определения глубины воды. Используя эти измерения глубины, создается карта морского дна. Для того чтобы карты морского дна были точными, необходимо знать точное местоположение судна на поверхности воды. Система ГНСС+INS интегрированная с системой гидролокатора обеспечивает точное положение сосуда для каждого измерения гидролокатора. Система ГНСС+INS также обеспечивает вертикальное расположение судна для компенсации волн.

Беспилотные транспортные средства

Беспилотное транспортное средство – это транспортное средство, которое не занято, но находится под контролем человека, будь то радиоуправляемое или автоматически управляемое приложением на основе ГНСС. Существует много типов беспилотных транспортных средств, в том числе: беспилотный наземный транспорт (UGV), беспилотный летательный аппарат (БПЛА) (рис. 47), беспилотный надводный аппарат (USV) и беспилотный подводный аппарат (UUV).

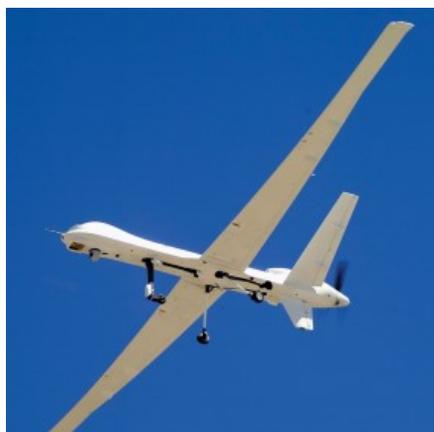


Рис. 47. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА)

Изначально беспилотные летательные аппараты использовались преимущественно в оборонной промышленности. Однако, поскольку рынок беспилотных транспортных средств вырос и диверсифицировался, коммерческое использование беспилотных транспортных средств также росло и диверсифицировалось. В настоящее время беспилотные транспортные средства используются в гражданских целях в таких областях, как поиск и спасение, мониторинг сельскохозяйственных культур, охрана дикой природы, аэрофотосъемка, экологические исследования, инспекция инфраструктуры, батиметрия, обнаружение и удаление наземных мин, инспекция опасных веществ и борьба со стихийными бедствиями. По мере расширения рынка гражданских беспилотных транспортных средств будет расширяться и гражданское использование беспилотных транспортных средств.

Исследование ураганов

Зная, где ураган заставит землю упасть и насколько мощным он будет, важно правильно подготовиться к шторму. Хотя метеорологи хорошо предсказывают потенциальный путь урагана, гораздо сложнее предсказать, насколько мощным будет шторм, когда он прибудет.

Чтобы узнать больше о том, что заставляет ураган быстро увеличиваться или уменьшаться в интенсивности, НАСА использует два БПЛА большой дальности для изучения штормов, пока они все еще далеко в море. На борту БПЛА находятся метеорологические приборы, которые следят за экологическими условиями внутри и вокруг шторма. БПЛА также имеют систему ГНСС+INS, которая регистрирует местоположение и положение БПЛА для каждого измерения, выполненного метеорологическими приборами. Точное местоположение БПЛА и его ориентация необходимы для проведения измерений, чтобы быть полезными.

Испытание парашюта космического аппарата

Прежде чем космический аппарат может быть использован для пилотируемых космических миссий, мы должны знать, что космический аппарат может безопасно приземлиться на землю. Ключевым аспектом безопасного возвращения астронавтов на Землю является замедление космического аппарата с его невероятно высокой скоростью входа в атмосферу, близкой к 32000 км/ч, до менее чем 36 км/ч. Система ГНСС+INS, установленная в испытательных транспортных средствах, измеряет вертикальную скорость транспортного средства для проверки эффективности парашютной системы.

Посадка беспилотного вертолета на корабль

Автономная посадка беспилотного вертолета уже является сложной задачей, поскольку навигационная система должна иметь дело с движением вертолета, вызванным ветрами. Эта проблема значительно возрастает при попытке высадиться на корабль в море. Мало того, что положение вертолета меняется в зависимости от его движения и воздействия ветра, корабль движется независимо, основываясь на своем движении и влиянии, как ветра, так и моря.

При посадке вертолета на корабль относительное расстояние между шасси вертолета и полетной палубой корабля гораздо важнее, чем абсолютное положение вертолета и корабля. Для определения этого относительного расстояния используются системы ГНСС+INS, установленные как на вертолете, так и на корабле. Система ГНСС+INS на корабле вычисляет свое положение и передает эту информацию в систему ГНСС+INS на вертолете. Система ГНСС+INS на вертолете использует положение, отправленное с корабля вместе со своим собственным положением, чтобы рассчитать относительное расстояние и направление между кораблем и вертолетом. Используя это относительное расстояние и направление, беспилотный вертолет способен автономно подойти и приземлиться на полетной палубе корабля.

Безопасность страны

Оборонный сектор широко использует технологию ГНСС, в том числе:

1) навигацию – используя приемники ГНСС, солдаты и пилоты могут перемещаться по незнакомой местности или проводить ночные операции. Большинство пехотинцев теперь носят ручные приемники ГНСС;

2) поиск и спасение – если самолет потерпит крушение и этот самолет имеет поисково-спасательный маяк, который оснащен приемником ГНСС, его можно будет быстрее найти;

3) разведка и создание карт – военные используют ГНСС для создания карт неизведанной или вражеской территории. Они также могут отмечать разведывательные точки с помощью ГНСС;

4) Беспилотные транспортные средства – беспилотные транспортные средства широко используются в военных целях, включая разведку, материально-техническое обеспечение, целеуказание и приманку, обнаружение мин, поиск и спасение, научные исследования и разработки и миссии в необеспеченных или загрязненных районах.

5) руководство по боеприпасам – высокоточные боеприпасы используют ГНСС для обеспечения попадания боеприпаса в цель.

ГЛАВА 7. ОБОРУДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

7.1. Оборудование глобальных навигационных спутниковых систем

Первые поколения коммерческих приемников ГНСС стоят значительно больше \$ 100,000. Теперь приемники ГНСС встроены в смартфоны. Поставщики оборудования разработали широкий спектр оборудования для поддержки невероятного диапазона приложений ГНСС, которые теперь доступны. Оборудование ГНСС состоит из приемников, антенн и вспомогательного программного обеспечения с различными уровнями интеграции и производительности (рис. 48).



Рис. 48. Оборудование ГНСС

В зависимости от применения, антенна и приемник могут быть отдельными объектами, или они могут быть интегрированы в один пакет, как в портативном приемнике ГНСС. Оборудование ГНСС может быть дополнительно интегрировано с прикладным оборудованием, таким как геодезическое или гидрографическое оборудование, или транспортное судно.

Спецификации и характеристики оборудования ГНСС зависят от применения. Чтобы проиллюстрировать это, пользователи должны учитывать следующее при выборе оборудования ГНСС для конкретного использования:

1. **Точность.** Для таких применений, как съемка, может потребоваться точность сантиметрового уровня. Другие, такие как позиционирование, для пеших прогулок, могут требовать точности только в пределах десятков метров. Некоторые приложения требуют абсолютной точности; то есть, положение определено точно, относительно фактической контрольной точки или местоположения. Другие могут потребовать точности относительно предыдущей позиции. Если высокоточная точность достигается за счет применения дифференциального ГНСС, то может быть желательно, чтобы дифференциальный сервис был интегрирован в тот же пакет, что и приемник ГНСС, например, приемник SBAS или радиолиния с базовой станцией или марсоходами.

2. **Время приема.** Для некоторых приложений пользователям может потребоваться быстрое «время для первого исправления», время, необходимое приемнику ГНСС для достижения решения по положению. Для других приложений может быть не важно, что «исправление» будет доступно быстро.

3. **Доступность.** Оборудование может потребоваться для обеспечения непрерывного обслуживания позиционирования, даже в тех районах, где сигналы со спутников блокируются. Как мы уже обсуждали, эти приложения лучше всего могут обслуживаться оборудованием, которое интегрирует оборудование ГНСС и INS. Оборудование может нуждаться в поддержке нескольких созвездий и частот, а также может хорошо работать в средах, характеризующихся высоким уровнем многолучевых помех. При выборе оборудования ГНСС почти всегда будут существовать компромиссы между точностью, временем получения, надежностью и доступностью.

4. **Окружающая среда.** Пользовательское оборудование может работать в широком диапазоне температур и влажности, на больших высотах или в пыльных средах. Оборудование может быть водонепроницаемым для дождя или погружения в воду.

5. **Сотрясение и вибрация.** Оборудование может подвергаться высоким уровням сотрясения и вибрации, например, тем, которые характерны для промышленных транспортных средств.

6. **Компактность.** В зависимости от применения, оборудование может быть портативным, как ручной прибор для пешего туризма или обзора.

7. **Нормативное регулирование.** Соответствие нормативным требованиям будет варьироваться в зависимости от юрисдикции, в которой работает пользователь.

8. **Хранение данных.** Приемники могут потребоваться для хранения информации о временном интервале или местоположении с отметкой времени для приложений, которые будут использовать эту информацию после выполнения миссии.

9. **Физические размеры и энергопотребление.** Пользователю может потребоваться приемник или антенна с малым форм-фактором и низким энергопотреблением для интеграции в конкретное приложение, такое как БПЛА.

10. **Пользовательский интерфейс.** Важен способ взаимодействия пользователя с оборудованием, например, клавиатура для ввода команд, экран для просмотра данных о местоположении на карте или разъемы для вывода данных на другие устройства.

11. **Вычислительные требования.** Пользователи могут потребовать, чтобы оборудование предоставляло вычисленные данные, такие как скорость или направление движения.

12. **Связь.** Позиция может быть полезна только в том случае, если она сообщается с другим устройством по, например, сотовой радиолнии. Хотя некоторые сигналы и созвездия ГНСС могут быть еще недоступны, пользова-

телям может потребоваться определенная гарантия того, что они смогут использовать эти сигналы и созвездия, как только они будут доступны.

7.2. Приемник GNSS RTK фирмы STONEX

S800A – сверхминиатюрный приемник GNSS RTK фирмы STONEX. С совершенно новым дизайном внешнего вида и твердой структурой магниевого сплава, он поддерживает GPS, ГЛОНАСС, BeiDou 2-го поколения и Galileo спутниковой навигационной системы, которая отвечает требованиям точности современной геодезии, чтобы обеспечить надежные результаты съемки и удобство эксплуатации. S800A приносит вам предельный опыт.

Одной из новых особенностей внутри S800A является прием Atlas: Atlas – это система дифференциальной коррекции, транслируемая на L-диапазоне, позволяющая повысить точность позиционирования в области, не охваченной обычными Cors, работающими по технологии Ntrip (отсутствие опорных станций, отсутствие сигналов GPRS и т. д.). «Атлас» транслируют спутниковые системы, поэтому прием практически обеспечен по всему миру. Atlas использует аналогичную технологию по сравнению с SBAS, но обеспечивает лучшую точность позиционирования.

- Многозвездная система поддерживает Мультисистемную навигацию и позиционирование BeiDou, GPS, GLONASS и Galileo.
- Компактный и удобный. Высокая интеграция.
- IP67 водонепроницаемый и пылезащитный рейтинг. Ударопрочный.
- Высоко интегрированная внутренняя антенна. Смещение центра нулевой фазы.
- Встроенный 8G памяти.
- Мощная выносливость батареи с более чем 10-часовой непрерывной работой.

Меры предосторожности

Транспортировка. Во время транспортировки приемник и его принадлежности должны быть разумно размещены в транспортном контейнере, чтобы защитить от ударов и вибрации. Особо следует отметить, что S800A содержит несъемную внутреннюю литиевую батарею, национальные и международные правила которой должны соблюдаться и выполняться при транспортировке.

Хранение. Перед хранением разрядите батарею ниже 30%. После хранения перезарядите батареи перед использованием. Рекомендуется поддерживать надлежащую температуру хранения в сухой среде, чтобы свести к минимуму саморазряд батареи. Храните приемник в сухом месте и перед использованием.

Чистка и сушка. Используйте только чистую, мягкую, безворсовую ткань для чистки. При необходимости смочите ткань водой или чистым

спиртом. При любых погодных условиях, вернувшись с поля, высушите изделие, транспортный контейнер, пенопластовые вставки и аксессуары.

Инженерные системы S800A

Геодезическая система S800A состоит из трех основных компонентов: приемника, портативного устройства и аксессуаров. В следующих частях приведены их предисловия.

Приемник S800A Внешний вид приемника

Размер приемника составляет 146 мм*146 мм*76 мм, вес-1,2 кг, внешний вид, как показано на рис. 47. На лицевой стороне находится панель управления, состоящая из 1 кнопки включения и 4 индикаторов. Внизу находятся интерфейсы СВЧ-антенны и кабелей.

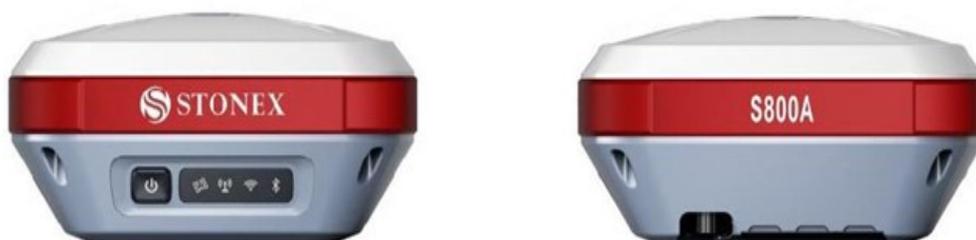


Рис. 49. Приемник S800A

На нижней части приемника нанесен серийный номер системного блока. Нижние интерфейсы показаны на рис. 50, с крышками для предотвращения попадания пыли и воды.



Рис. 50. Дно приемника

ТНК интерфейс (подключения внутренней антенны):

- 2-контактный порт LEMO: зарядка для внутренней батареи, подключение адаптера;
- 5-контактный порт LEMO: подключение внешнего источника питания и внешнего радио;

•7-контактный порт LEMO: подключите ПК или КПК, USB+последовательный порт.

Панель управления

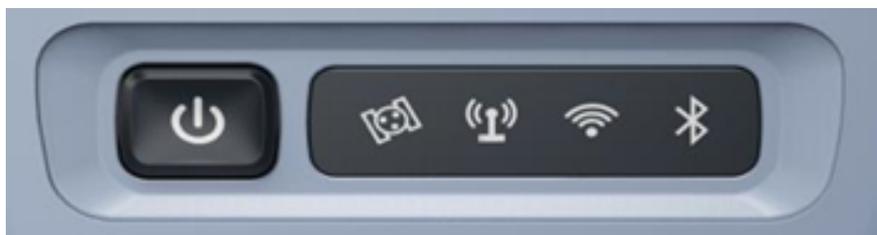
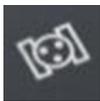


Рис. 51. Панель управления

Таблица 14

Описание функции индикатора

Описание	Состояния	Индикатора
<p>Кнопка включения питания</p> 	<p>ВКЛ: достаточно заряда батареи</p> <p>Быстрое мигание: низкая мощность батареи (ниже 10%)</p> <p>Медленно мигает (3%): зарядка</p>	<p>Когда приемник S800 А включен, индикатор питания горит.</p> <p>Согласно силе батареи, индикатор показывает следующие три различных статуса:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ВКЛ (зеленый): достаточный источник питания 2. Быстрое мигание: мощность ниже 10% индикатор мигает один раз в секунду 3. Медленно мигает: один раз в 3 секунды <p>Примечание: чаще всего, когда индикатор питания быстро мигает, внутренней батареи приемника хватит для непрерывной работы всего на 1 час.</p> <p>Индикатор показывает оба статуса внутреннего аккумулятора и внешнего питания, и когда приемник подключается к внешнему источнику питания, индикатор автоматически переключается в режим отображения состояния внешнего источника питания</p>
<p>Со светодиодной подсветкой и спутниковыми</p> 	<p>Мигание: блокировка сигнала спутника</p> <p>Выкл: недействительно решение (закрыто не одного спутника)</p>	<p>Этот светодиод показывает количество заблокированных спутников.</p> <p>Когда приемник блокирует больше чем один спутник, светодиод начнет мигание в цикле за 30 секунд, и число вспышек – это число спутников заблокированных приемником.</p> <p>Когда приемник не блокирует спутник, мигание отсутствует</p>

Продолжение таблицы 14

Описание	Состояния	Индикатора
Светодиод канала передачи данных 	Мигает: данные передаются	Когда приемник начинает передавать или получать данные, светодиод начинает мигать
WIFI led 	ВКЛ: WiFi включен Выкл: WiFi выключен	Когда Wi-Fi включен, светодиод горит зеленым. Когда Wi-Fi выключен, светодиод не горит
Bluetoothled 	Включено: Bluetooth подключился. Мигание: Bluetooth подключен и получает дифференциальные данные. Выкл: нет соединение	Когда приемник подключен к портативному устройству или другие инструменты по Bluetooth, светодиод будет гореть синим цветом. Когда приемник подключился к другому инструменту по Bluetooth и получает дифференциальные данные, светодиод будет мигать. Если приемник не использует Bluetooth, то светодиод не будет гореть

Режим просмотра

Когда приемник включен, нажмите кнопку питания, а затем он будет подавать звуковой сигнал и транслировать текущий рабочий режим и канал передачи данных.

Переключатель режима

Когда приемник включен, подключите его к портативным или другим приборам, чтобы настроить и переключить режим работы приемника.

Самоконтроль приемника

Функция самоконтроля заключается в том, чтобы проверить, работает ли каждый модуль нормально. Когда у приемника S800A индикаторы выключены или модуль не работает нормально, вы можете использовать самоконтроль для проверки приемника. S800a self-check состоит из четырех частей, а именно GPS, радио, Wi-Fi и Bluetooth. Результаты самоконтроля будут транслироваться звуком в процессе. Операция самоконтроля и трансляция результатов выполняются следующим образом:

а) когда приемник включен, нажмите кнопку питания и удерживайте ее до тех пор, пока голос приемника не передаст команду «выключить питание». Нажмите ее снова, пока приемник подает звуковой сигнал и голос вещает «самопроверки», что означает, что приемник начинает работать самопроверки. Новый приемник рекомендуется использовать для самоконтроля хотя бы один раз.

б) в процессе самоконтроля за каждым осмотром модуля следует его результат проверки. Если модуль проверки проходит, он будет голосовой трансляцией «ОК» и индикатор модуля продолжает гореть до тех пор, пока

вся самоконтроль не закончится. Если проверка модуля завершается неудачей, он будет звуком транслировать текущий сбой проверки модуля, поддерживать мигание светодиода модуля и звучание зуммера, пока вы не перезагрузите приемник. Самоконтроль длится около 1 минуты. В случае отказа от самостоятельной проверки обратитесь к местному дилеру.

в) если каждый индикатор модуля горит без мигания, а голосовая трансляция говорит, что каждый модуль работает нормально (например, «GPS self-check. OK»), это означает, что все модули работают нормально. Приемник начинает работать после того, как вся самоконтроль заканчивается.

Стандартные аксессуары

Транспортный контейнер. Существует два вида контейнеров S800A: контейнер Rover и базовый контейнер. Эти два контейнера имеют схожий внешний вид, но их компоновка вставки отличается. (Контейнеры S800A все еще находятся в стадии производства.)

Адаптер. Приемник S800A принимает внутреннюю батарею. Вы можете использовать адаптер для зарядки приемника. S800A приемник и КПК одинаковые модели адаптера, как показано на рисунке 49.

Антенна УВЧ. Когда приемник находится во внутреннем режиме радиосвязи, требуется антенна УВЧ, как показано на рис. 52.



Рис. 52. Антенна УВЧ

УВЧ антенны имеют 3 модели, соответственно охватывающие 3 диапазона частот, как показано в таблице 15.

Таблица 15

Модели СВЧ-антенн

Модель	QT410A-1	QT440A-1	QT450A-1
Частота (МГц)	410~430	430~450	450~470

Контактный последовательный кабель. Один конец 7-контактного последовательного кабеля, 7-контактный последовательный порт, предназначен для подключения приемника, а другой конец кабеля, USB и интерфейс D89 предназначены для передачи данных соответственно с ПК и КПК (рис. 53).



Рис. 53. Контактный последовательный кабель

Прочие принадлежности

Другие аксессуары включают стеклянный монтажный столб, держатель контроллера, разъем, лоток и измерительную ленту, и другие аксессуары.



Рис. 54. Монтажный столб из стекловолокна, держатель контроллера



Рис. 55. Разъем поднос измерительная лента

Полевые исследования Статическая Съёмка

Статическая съёмка – это измерение местоположения GPS путем установки трех или более приемников ГНСС на различных измерительных станциях для одновременного измерения с целью получения относительных положений измерительных станций.

Сфера применения:

- создание национальной геодезической сети контроля (второй или следующий класс);
- создание точной инженерной сети контроля, такой как измерение мостов, измерение туннелей;
- создание различных уплотненных контрольных сетей, таких как измерение городов, картографирование контрольных точек, измерение дорог и определение границ;
- GPS-измерения, включая контрольные съёмки, используемые для картографирования, кадастровой съёмки, земельной информации, съёмки недвижимости, геофизической разведки, геодезии и строительства зданий в малых и средних городах и поселках, которые должны удовлетворять требованиям точности GPS-измерений класса D или E.

Статические инженерные работы:

- 1) установите штатив на измерительной станции, переключите приемник в статический режим и прикрепите его к трибраху, центрируя и выравнивая его в строгом стандарте.
- 2) измерьте высоту антенны;
- 3) запишите названия станции и приемника, высоту приемника, время начала измерения, время окончания измерения, сеанс наблюдения и номер спутника;

4) статическая регистрация данных: включите приемник и убедитесь, что он находится в статическом режиме. Приемник начинает искать спутники, и светодиод спутника начинает мигать. Когда он удовлетворяет требованию записи, спутниковый светодиод будет мигать в интервале выборки по умолчанию, и одна вспышка означает, что была зарегистрирована эпоха;

5) выключите приемник после завершения регистрации данных, а затем передайте данные и выполните внутреннюю обработку данных. (Смотрите подробные инструкции по эксплуатации в руководстве пользователя Cube-a Software (V3.0).)

Принципы проектирования сети управления GPS

1) для обеспечения непрерывного слежения наблюдения за спутниками и качественного спутникового сигнала, GPS-измерительной станции устанавливается в местах, свободных от препятствий, где угол высоты препятствий должен быть менее 15° в поле зрения станции.

2) чтобы уменьшить или избежать прерывания от электромагнитной волны до спутникового сигнала, измерительную станцию настраивают вдали от мощных радиоисточников (таких как телевизионная станция, радиовещательная станция и микроволновая станция). И рядом не должно быть объекта, который может сильно отражать спутниковый сигнал (например, крупномасштабные здания).

3) измерительная станция должна быть удобной в транспортировке и стабильно работать.

Метод сбора данных

Существует 2 метода сбора данных: ручной запуск и автоматический запуск. Откройте Cube-a software на КПК, нажмите кнопку «Device» – «Communication», выберите модель приемника и режим связи. Есть два режима связи Bluetooth и WIFI.

Ручной запуск. Нажмите «устройство» – «рабочий режим», выберите «статический». Здесь вы можете настроить статические параметры, Параметры антенны и спутниковой системы.

Автоматический старт. Нажмите «устройство» – «рабочий режим», выберите «статический». В настройках параметров выберите автоматическая запись статических данных и в следующий раз, когда приемник будет включенный, он может автоматически начать статическую регистрацию данных без необходимости перезагрузки.

Динамическое измерение РТК (Радио)

РТК динамического измерения (база и ровер) имеет режим радиосвязи и режим сети, которые отличаются друг от друга способами передачи дифференциального сигнала.

Алгоритм установки основания

1. Установите штатив в месте с известными координатами или неизвестными координатами, выровняйте его и прикрепите приемник на нем.

2. Настройте приемник в соответствии с выбранным каналом передачи данных. При использовании внутренней радиопередача, присоедините внутреннюю радиоантенну к порту антенны УВЧ приемника; при использовании внешней радиопередачи подключите внешнее радио к 5-контактному Порту с помощью 5-контактного кабеля.

3. Включите приемник и выберите базовый режим.

Начало базы

Откройте Cube-a на КПК, чтобы выбрать режим связи. Нажмите кнопку «устройство» – «рабочий режим», чтобы выбрать базовый режим и настроить его режим запуска, параметры, канал передачи данных и спутниковую систему, и другие настройки.

База имеет 2 режима запуска:

- используйте текущие координаты. База использует приблизительные координаты WGS-84 текущего местоположения в качестве базовых координат;

- входные базовые координаты. Заданные пользователем базовые координаты: указанные базовые координаты не могут находиться далеко от точных координат WGS-84 текущего местоположения, в противном случае база не может работать.

Установка ровера

После установки базы, приступаем к установке роверов:

1) закрепите кронштейн на шесте, закрепите наладонник на кронштейне, а затем установите марсоход на шест;

2) установите внутреннюю радиоантенну или подключите внешнее радио в соответствии с выбранным каналом передачи данных;

3) включите приемник и выберите режим rover. 3.2.4 конфигурация Ровера.

OpenCube – программа на КПК для выбора режима связи. Нажмите кнопку «устройство» – «рабочий режим», чтобы выбрать режим rover и настроить его канал передачи данных, параметры антенны и спутниковой системы и другие настройки. Когда канал передачи данных является внутренним радио, необходимо настроить радиоканал, частоту, протокол и мощность.

Примечание:

1. Если вы хотите получить высокоточный результат съемки (несколько сантиметров), рекомендуется использовать штатив для установки ровера;

2. Если охват геодезической зоны Большой (более 4 км от базы), рабочее расстояние слишком далеко для внутреннего радиоприемника, чтобы удовлетворить спрос, рекомендуется использовать внешнее радиоприемное устройство для подключения приемника;

3. В режиме радиосвязи настройки частоты и протокола базы и маршрута должны быть одинаковыми.

Динамическое измерение RTK (сеть)

Установки базы

Поскольку режим сети RTK передает дифференциальные данные по сети, отличаясь от режима радио только по способу их передачи, установки базы и ровера аналогичны. А поскольку S800A не имеет внутренней сетевой функциональности, он обычно не используется в качестве сетевой базы.

Конфигурация ровера

Откройте Cube-a на КПК, чтобы выбрать режим связи. Нажмите кнопку «устройство» – «рабочий режим», чтобы выбрать режим rover и настроить его канал передачи данных, параметры антенны и спутниковую систему. Когда канал передачи данных является портативной сетью, вы можете настроить IP, COM-порт и AP и другие параметры. Он также может работать как RTK, получая доступ к серверу через портативную сеть, используя портативный сетевой модуль для входа в интернет. После подключения к серверу, полученные дифференциальные данные могут быть переданы в приемник таким образом, чтобы понять, что приемник может быть сетевым RTK без SIM-карты.

Приложение веб-интерфейса

Приемник S800A имеет функциональность веб-интерфейса. Получив доступ к его внутренней точке доступа, вы можете легко управлять им в веб-интерфейсе. Если у вас есть смартфон, ПК или портативный компьютер с функцией Wi-Fi, вы можете легко подключиться к приемнику S800A для просмотра состояния, загрузки данных и настройки приемника.

Приемник S800A по умолчанию автоматически открывает WI-FI, когда он включен. Используйте смартфон/ПК/КПК для поиска точки доступа приемника, чье имя является его серийным номером, и подключите его. (Приемник WI-FI поддерживает только получение доступа к веб-интерфейсу для проверки состояния и настройки режима, а не для подключения к интернету.)

После подключения к ресиверу S800A WI-FI откройте браузер и введите «192.168.10.1» в поле IP-адрес. Появляется окно с запросом пользователя и паспорта. Пользователь и пароль по умолчанию отображаются следующим образом:

пользователь: admin

пароль: passport

А затем вы можете войти в веб-интерфейс приемника S800A.

Статус

В поле Статус можно проверить текущее состояние приемника, включая информацию о местоположении, канале передачи данных, спут-

нике и устройстве. Вы можете просмотреть подробную информацию с помощью соответствующего крана (рис. 55).



Рис. 55. Информация о положении

Настройки

В настройках есть 6 опций, а именно рабочий режим, настройки спутника, конфигурация устройства, сообщение NMEA, просмотр журналов и набор настроек. Здесь вы можете настроить режим работы приемника, спутниковую систему, системный параметр и информацию NMEA. Вы также можете просматривать и загружать журналы, а также загружать, скачивать, удалять и применять соответствующие конфигурации. Вы можете просмотреть подробную информацию с помощью соответствующего крана (рис. 56).

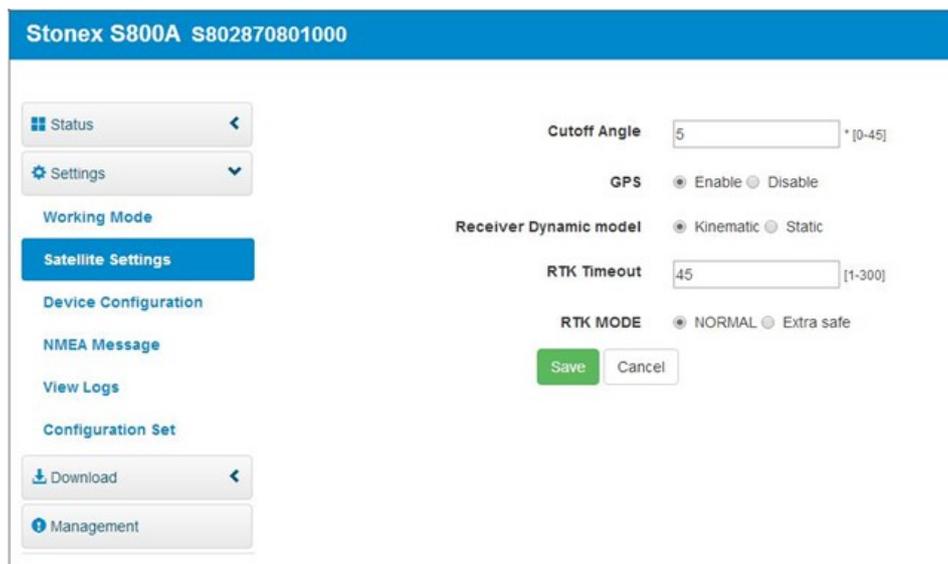


Рис. 56. Настройки спутника

Скачать

В разделе Загрузка он обеспечивает загрузку необработанных данных и резервных копий данных. Вы можете просмотреть подробную информацию с помощью соответствующего крана (рис. 57).



Рис. 57. Резервные копии данных

Управление

В управлении он обеспечивает оперативное обновление, регистрацию устройства, изменение пароля, форматирование диска устройства, самотестирование, восстановление заводских настроек и сброс (рис. 58).

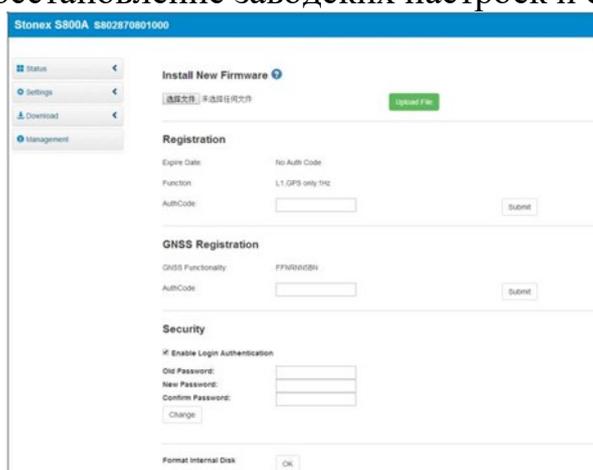


Рис. 58. Управление

Регистр устройств

Регистровый код состоит из 32 цифр и букв. Вы можете зарегистрировать устройство через веб-интерфейс. Подробные шаги показаны следующим образом:

На странице «Управления» вы можете увидеть «Регистрация». Введите код регистра и нажмите кнопку «Отправить», после чего регистрация будет завершена. После регистрации вы можете проверить срок действия текущей регистрации на странице.

Вы также можете зарегистрировать устройство через контроллер. Откройте программное обеспечение SurPad на КПК и подключите приемник. Нажмите кнопку «About» – «Registerinstrument», затем введите код и регистрация завершена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Real-Time Kinematic (RTK) // NovAtel Inc. – Режим доступа: <https://www.novatel.com/an-introduction-to-ГНСС/chapter-5-resolving-errors/real-time-kinematic-rtk/>.
2. Ворошилов А. П. Спутниковые системы и электронные тахеометры в обеспечении строительных работ : учеб. пос. / А. П. Ворошилов. – Челябинск : АКСВЕЛЛ, 2007. – 163 с.
3. Генике А. А. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Картгеоцентр, 2004. – 255 с.
4. Курошев Г. Д. Космическая геодезия и глобальные методы позиционирования : учебное пособие / Г. Д. Курошев. – СПб : Санкт-Петербургский университет, 2011. – 182 с.
5. Кусов В. С. Основы геодезии, картографии и космоаэрофотосъемки : учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / В. С. Кусов. – 2-е изд., испр. – М. : Академия, 2012. – 256 с.

Дополнительная литература

6. Геодезия : учеб. / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, М. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман ; ред. Д. Ш. Михелев. – 11-е изд., перераб. – М. : Академия, 2012. – 496 с.
7. Поваляев А. А. Глобальные спутниковые системы синхронизации и управления движением в околоземном пространстве : учеб. пос. / А. А. Поваляев, А. В. Вейцель, Р. Б. Мазепа ; ред. А. А. Поваляев. – М. : Вузовская книга, 2012. – 188 с.
8. Геопрофи. – Режим доступа: <http://geoprofi.ru/>.
9. Пространственные данные. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/pd.html>.
10. Гарбук С. В. Космические системы дистанционного зондирования Земли / С. В. Гарбук, В. Е. Гершензон. – М. : А и Б, 1997. – 296 с. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/docs/books/rs-satsen/rs-satsen.zip>.
11. ГОСТ Р 52928-2008. Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения. – Введен 2009-01-01. – Режим доступа: http://antic-r.ru/ntd/gost_r/gost_r_52928-2008.pdf.
12. Назаров А. С. Координатное обеспечение топографо-геодезических и земельно-кадастровых работ / А. С. Назаров. – Минск : Учеб. центр подгот., повышения квалификации и переподгот. кадров землеустроит. и топографо-геод. службы, 2008. – 83 с.
13. Bahl P. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system / P. Bahl, V. N. Padmanabhan // Proceedings of the IEEE Infocom 2000. – Tel Aviv, Israel, 2000.

14. Dardari D. Ranging with ultrawide bandwidth signals in multipath environments / D. Dardari, A. Conti, U. Ferner, A. Giorgetti, M. Z. Win // Proc. IEEE, Special Issue on UWB Technology & Emerging Applications. – 2009. – Vol. 97 (2). – P. 404–426.

15. Global Positioning System Overview by Peter H. Dana, University of Colorado. – Режим доступа: http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html

16. Wormley S. Global Positioning System (GPS) Resources / S. Wormley. – Режим доступа: <http://www.edu-observatory.org/gps/gps.html>.

17. Bennett P. NMEA-0183 and GPS Information / P. Bennett. – Режим доступа: <http://vancouver-webpages.com/peter/U>.

Электронные ресурсы

18. Сайт научного электронного журнала по геодезии, картографии и навигации. – Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru/>.

19. Официальный сайт фирмы «Ракурс» – разработчика ПО по фотограмметрии. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/>.

20. Официальный сайт фирмы Erdas Imagine – разработчика ПО по фотограмметрии. – Режим доступа: <http://www.erdas.com/>.

21. Официальный сайт Американского общества фотограмметрии и дистанционного зондирования. – Режим доступа: <http://www.asprs.org/>.

22. http://russianspacesystems.ru/wpcontent/uploads/2016/08/ICD_GLO_NASS_eng_v5.1.pdf.

23. <https://www.glonass-iac.ru/aboutIAC/>.

24. <http://www.ipa.nw.ru/conference/kvno2011/programma.htm>.

25. <http://www.agiks.ru/data/konf/page35.htm>.

26. <http://www.sunhome.ru/journal/58908>.

27. <https://www.novatel.com/an-introduction-to-ГНСС/chapter-5-resolving-errors/real-time-kinematic-rtk/>.