

Keysight Technologies

Тестирование приемников глобальных
навигационных спутниковых систем

Рекомендации по применению

Содержание

| | |
|---|----|
| Краткие сведения о глобальных навигационных спутниковых системах | 3 |
| Области применения и причины развития технологии ГНСС | 4 |
| Описание системы ГНСС | 4 |
| Система GPS | 6 |
| Сигнал, передаваемый спутниками GPS | 6 |
| Навигационное сообщение GPS | 7 |
| Система A-GPS | 8 |
| Система ГЛОНАСС | 8 |
| Сигнал, передаваемый спутниками ГЛОНАСС | 9 |
| Компоненты сигнала ГЛОНАСС | 10 |
| Навигационное сообщение ГЛОНАСС | 11 |
| Сигнал открытого сервиса E1 системы Galileo | 12 |
| Компоненты сигнала Galileo | 13 |
| Навигационное сообщение Galileo | 14 |
| Система Beidou | 15 |
| Сигнал, передаваемый спутниками Beidou | 15 |
| Компоненты сигнала Beidou | 15 |
| Навигационное сообщение Beidou | 17 |
| Тестирование приемников ГНСС | 19 |
| Типовые тесты приемника ГНСС | 19 |
| Требования к тестированию приемника ГНСС | 20 |
| Тестовые сигналы ГНСС, используемые в ходе НИОКР и для проверки правильности проектирования | 20 |
| Сигналы для тестирования приемника ГНСС в процессе производства | 22 |
| Тестирование приемника ГНСС с помощью программного обеспечения N7609B Signal Studio for GNSS | 23 |
| Схема измерений для приемника ГНСС | 23 |
| Генерирование сигналов ГНСС в реальном времени | 24 |
| Управление спутниковыми сигналами в реальном времени | 27 |
| Создание собственных сценариев для любого времени, даты и местоположения | 28 |
| Редактирование файлов сценариев для получения искажений с высокой повторяемостью | 32 |
| Утилита «Trajectory Generator» | 34 |
| Применение модели антенны | 35 |
| Выводы | 36 |
| Веб-ресурсы | 36 |
| Литература | 37 |
| Ссылки | 37 |
| Учебные материалы и веб-ссылки для ГНСС | 37 |

Краткие сведения о глобальных навигационных спутниковых системах

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) – общее название систем, с помощью которых пользователи могут определять свое местоположение на основе информации, получаемой со спутников. Помимо американской системы глобального позиционирования GPS, в настоящее время полностью введена в действие российская система ГЛОНАСС. Китайская спутниковая система навигации Beidou, также известная под названием Compass, и система Galileo, разрабатываемая Европейским союзом, пока еще только разворачиваются.

Из четырех основных систем, две из которых находятся на разных стадиях развертывания, GPS была разработана раньше других. Она обеспечивает покрытие всего земного шара с 1994 г. Группировка системы продолжает пополняться. В 2012 г. были запущены спутники Block IIF. Планируемый запуск спутников Block III позволит предоставлять дополнительные сигналы и службы. Система ГЛОНАСС была введена в действие в 1982 г., но пришла в упадок после распада Советского Союза. Россия восстановила и доукомплектовала систему ГЛОНАСС. В октябре 2011 г. она была введена в действие полностью и в настоящее время обеспечивает покрытие всего земного шара. Россия продолжает совершенствовать систему, запуская новые спутники ГЛОНАСС-К, которые передают новые сигналы, подобные сигналам систем GPS и Galileo. Две другие системы, Galileo и Beidou, находятся на стадии развертывания. Galileo в течение многих лет разрабатывается Европейским союзом и Европейским космическим агентством в рамках совместного проекта. Два экспериментальных спутника были запущены в 2005 и 2008 гг. В 2011 и 2012 гг. были запущены первые четыре проверочных спутника, которые впоследствии войдут в состав действующей системы. Начать ограниченное обслуживание планируется в 2015 г., а полное – в 2020 г.

После запуска спутников в сентябре 2012 г., орбитальная группировка системы Beidou, начавшая ограниченную работу в декабре 2011 г., была расширена до 15 спутников, что позволило начать обслуживание в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Полный ввод в действие запланирован на 2020 г. Ограничение разработки продуктов, поддерживающих систему Beidou, было связано с тем, что полный контрольный документ интерфейса не был предоставлен Китаем до декабря 2012 г. Ожидается, что после публикации этого документа разработка продуктов, поддерживающих Beidou, ускорится.

В дополнение к четырем спутниковым системам, позволяющим приемникам определять свое местоположение, имеются другие спутниковые системы. В частности, спутниковая система дифференциальной коррекции (SBAS) состоит из геостационарных спутников, которые выдают данные для повышения точности местоопределения приемников ГНСС в определенном регионе. В число систем SBAS входят широкозонная система дифференциальной коррекции (WAAS) для Северной Америки, европейская геостационарная служба навигационного покрытия (EGNOS) для Европы, японская многофункциональная спутниковая система дифференциальной коррекции (MSAS) и индийская спутниковая система дифференциальной коррекции (GAGAN). Региональные навигационные спутниковые системы, такие как японская квазизенитная спутниковая система (QZSS), используют спутники, орбиты которых проходят над конкретными зонами, позволяя обеспечить точное местоопределение в ограниченных районах. Первый спутник QZSS уже запущен и в настоящее время выпускаются устройства, поддерживающие эту систему. Индийская региональная навигационная спутниковая система (IRNSS) находится в стадии разработки и для нее планируется запустить три геостационарных и четыре геосинхронных спутника.

Области применения и причины развития технологии ГНСС

Развитие рынка ГНСС обусловлено несколькими причинами, главной из которых является увеличение спроса на приложения и услуги по определению местоположения для смартфонов и планшетов. Помимо этого, увеличивается выпуск автомобилей с навигаторами. Кроме того, функция GPS все чаще используется в переносных пользовательских устройствах, таких как цифровые камеры и спортивные часы. Приложения для местоопределения становятся все более распространенными. Например, многие компании отслеживают перемещение своих автомобилей в реальном времени с целью контроля точности поставок. С помощью этих приложений можно следить за местонахождением сотрудников или пожилых людей для обеспечения их безопасности. Полиция использует технологию ГНСС для слежения за лицами, находящимися под домашним арестом или условно-досрочно освобожденными. В настоящее время имеются службы и устройства для слежения за домашними животными.

Для поддержки и развития этих приложений компании, разрабатывающие наборы микросхем для мобильной связи и WLAN, начали активно разрабатывать модули и наборы микросхем для ГНСС. Кроме того, растущий спрос на устройства, поддерживающие несколько ГНСС, стимулировал разработку микросхем, поддерживающих несколько ГНСС, например GPS и ГЛОНАСС, GPS и Galileo или GPS и Beidou.

Существуют приложения ГНСС для высокоточной навигации, которые используются в разведке и авиации, воздушно-космической обороне, а также для управления беспилотными ЛА и наведения ракет. Но это руководство по применению посвящено приложениям ГНСС для пользовательских устройств и приложений.

Описание системы ГНСС

Система ГНСС состоит из трех подсистем.

- Подсистема космических навигационных аппаратов (НКА) состоит из спутников, которые передают навигационное сообщение с информацией об орбите, местоположении НКА и времени передачи сообщения.
- Подсистема контроля и управления состоит из наземных станций, которые отслеживают НКА в пределах видимости, собирают данные нескольких передач и обновляют навигационные данные, сведения о состоянии атмосферы, информацию для коррекции, а также управляют спутником.
- Подсистема потребителей включает приемники ГНСС.

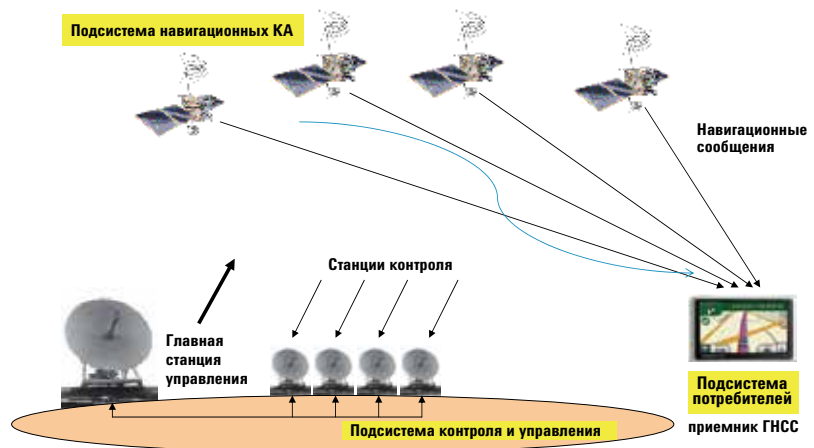


Рис. 1. Три основных сегмента системы ГНСС.

Приемник ГНСС определяет свое местоположение методом трилатерации. Он использует данные времени и положения, переданные в навигационном сообщении, для измерения задержки спутникового сигнала и вычисления расстояния до НКА, которое называется псевдодальностью. Расстояние до каждого НКА задает сферу, на которой может находиться приемник. Пересечение двух сфер представляет собой окружность, а три сферы пересекаются в двух точках. Для точного определения координат приемника необходима четвертая точка данных. Для приемников, предположительно находящихся на поверхности Земли, этой четвертой точкой будет точка на земной поверхности. Для определения местоположения приемника, находящегося над земной поверхностью, требуется определить псевдодальность до четвертого спутника. На основе одновременных измерений по данным, полученным от четырех спутников, приемник корректирует показания своих часов и показывает точное время в дополнение к определению своей широты, долготы и высоты.

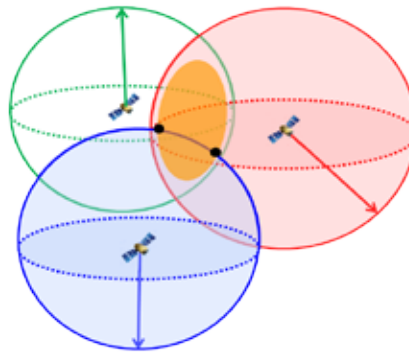


Рис. 2. Приемник ГНСС методом трилатерации вычисляет расстояние до минимум трех НКА. Местоположение приемника – точка на земной поверхности, через которую проходит линия, соединяющая точки пересечения сфер, радиус которых равен расстоянию до спутника.

Передачики спутников ГНСС относительно маломощны. Уровень их сигнала на поверхности Земли составляет от -155 дБВт до -160 дБВт (от -125 дБм до -130 дБм), а при наличии препятствий – еще меньше. Приемники ГНСС усиливают, восстанавливают и обрабатывают принятые сигналы.

Система GPS

Группировка GPS сначала состояла из 24 НКА, вращающихся в шести плоскостях, но в 2011 г. ее изменили, увеличив количество НКА до 27. Обычно в рабочем состоянии находятся 31 или 32 спутника, причем несколько находится в резервном режиме. Каждый НКА ежедневно совершает два оборота вокруг Земли на высоте около 20 200 км. Над любой точкой на поверхности Земли все время находится от 6 до 15 спутников.

Сигнал, передаваемый спутниками GPS

Сигнал, передаваемый спутниками GPS, содержит три основные компонента:

- Несущая
- Дальномерные коды (псевдослучайные последовательности)
- Навигационное сообщение

Каждый НКА модулирует свое навигационное сообщение (его подробное описание приведено в следующем разделе) двумя широкополосными псевдослучайными последовательностями: общедоступным гражданским грубым кодом (C/A), и закрытым точным кодом (P), который используется военными или государственными органами в высокоточных приложениях. Код C/A – это псевдослучайная последовательность (ПСП) длиной 1023 бита, передаваемая со скоростью 1,023 Мбит/с, то есть повторяющаяся каждую миллисекунду. Каждый НКА имеет уникальный код C/A, по которому он идентифицируется. Благодаря многоканальному доступу с кодовым разделением (CDMA), он принимается отдельно от кодов других НКА системы, передаваемых на той же частоте. P-код – это ПСП длиной $6,1871 \times 10^{12}$ бит. Он передается со скоростью 10,23 Мбит/с, а время передачи составляет 7 суток.

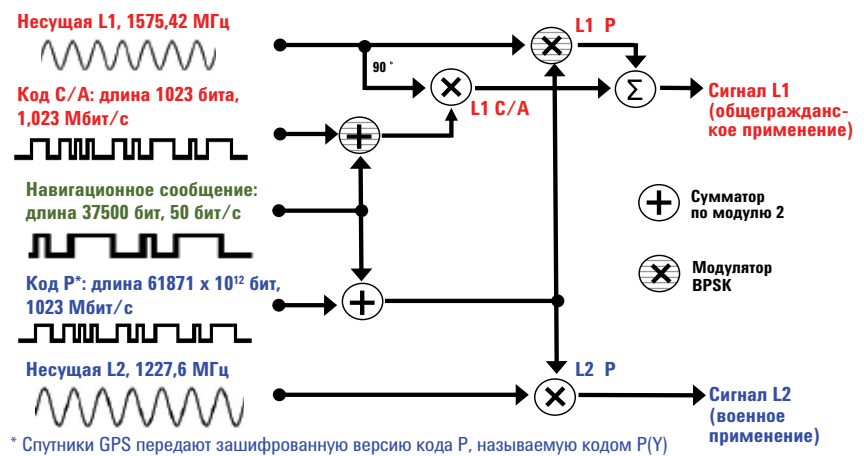


Рис. 3. Сигнал, передаваемый спутниками GPS, представляет собой комбинацию навигационного сообщения и кодов C/A и P, модулирующих несущие L1 и L2.

Начиная с 1994 г, передается зашифрованная версия кода P, называемая кодом P(Y). Она обеспечивает защиту от спуфинга или ложных передач в военных приложениях. Код P(Y) представляет собой код P, модулированный последовательностью для шифрования – W-кодом.

После добавления кода дальности полученный сигнал модулирует PЧ несущую. Оба кодовых сигнала, C/A и P(Y), модулируют несущую L1 (1575,42 МГц). Код P(Y) также модулирует несущую L2 (1227,6 МГц)

Навигационное сообщение GPS

Навигационное сообщение содержит 37 500 бит данных, разделенных на 25 кадров (страниц). Полное сообщение может быть передано за 12,5 минут, поскольку скорость передачи данных невелика – всего 50 бит/с. Каждый кадр состоит из 5 подкадров, которые содержат данные для поправки показаний часов приемника, данные о конфигурации и работоспособности бортовой аппаратуры, а также данные эфемерид или точную информацию об орбите передающего спутника, а также часть данных альманаха с информацией об орбитах всех спутников группировки.

В приемнике данные эфемерид каждого спутника используются для определения пространственного положения спутника, а данные времени передачи и для поправки показаний часов приемника – для вычисления местоположения приемника. Эти данные содержатся в первых трех подкадрах, поэтому приемник может получить необходимые данные минимум за 16 с (в худшем случае – за 30 с).

Навигационное сообщение:

25 кадров (страниц)
37 000 бит, 12,5 мин.



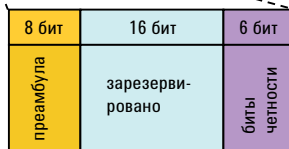
Кадр (страница):

1500 бит, 30 с



Телеметрическое слово (TLM)

30 бит, 0,6 с



Слово эстафетной передачи (HOW)

30 бит, 0,6 с



Наихудший случай: прием всех данных эфемерид за 30 с, а всех данных альманаха – а 12,5 мин.

Рис. 4. Навигационное сообщение GPS.

Система A-GPS

В мобильных телефонах используется технология A-GPS, позволяющая ускорить определение их местоположения. Для работы с ней в США используется система E911. В других странах существуют аналогичные системы, предназначенные для повышения скорости и точности определения местоположения мобильных телефонов экстренными службами. Это особенно важно, когда мобильные телефоны находятся внутри помещений или в местах, где нет достаточного количества спутников в зоне прямой видимости. Принцип технологии A-GPS заключается в том, что специальный сервер поддержки GPS отслеживает спутники GPS и получает информацию из навигационного сообщения. Данные от сервера поддержки передаются базовой станции, которая передает их телефонам по сотовой сети, чтобы каждый телефон мог быстро оценить свое местоположение и определить, сигналы каких спутников для него доступны.

По мере ввода в действие других ГНСС, органы по стандартизации разрабатывают стандарты 3GPP и 3GPP2, расширяющие функциональные возможности A-GPS, чтобы она позволяла определять местоположение с помощью усовершенствованного варианта ГНСС (A-GNSS).

Система ГЛОНАСС

Система ГЛОНАСС состоит из 24 спутников, подобных спутникам GPS, но с орбитами на более низкой высоте 19 100 км, которые вращаются в 3 плоскостях (8 спутников в каждой плоскости). Такая группировка спутников позволяет увеличить зону покрытия на более высоких широтах (у северного и южного полюсов) по сравнению с GPS, что очень важно для России и Северной Европы. Хотя все 24 спутника группировки введены в действие, в систему включены дополнительные спутники. В настоящее время на орбитах находятся спутники серии ГЛОНАСС-М, запущенные в начале 2003 г. Новые спутники серии ГЛОНАСС-К, запуск которых начался в 2011 г, передают дополнительные типы сигналов.

Выпускаются двухрежимные абонентские устройства GPS+ГЛОНАСС, преимущество которых заключается в увеличении числа спутников, которые они видят. Например, высокие городские здания могут блокировать сигналы некоторых спутников, поэтому увеличение числа видимых спутников позволяет приемникам быстрее и точнее определять свое местоположение.

Сигнал, передаваемый спутниками ГЛОНАСС

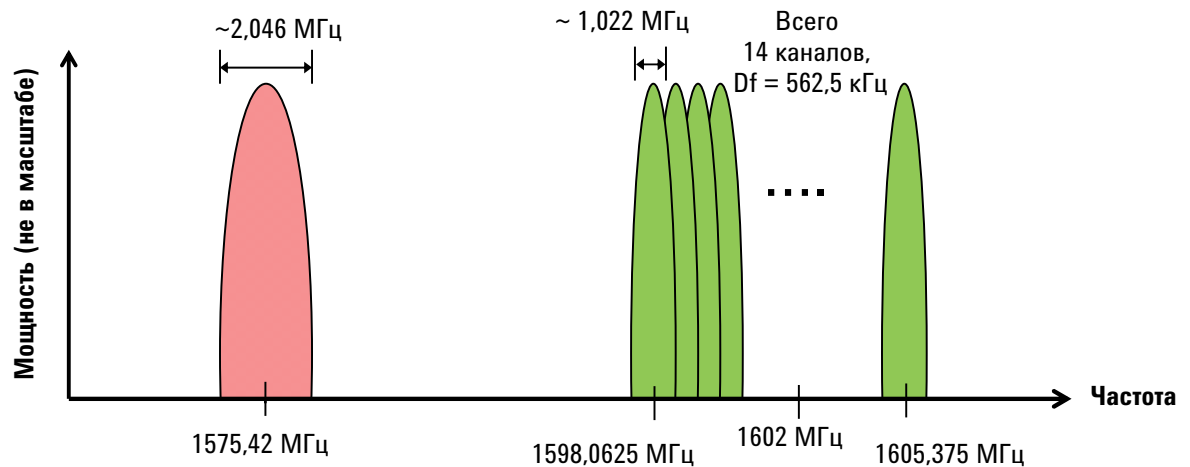
Спутники ГЛОНАСС-М передают сигналы на одной из 14 частот с кодированием с помощью одинаковой ПСП, поэтому ГЛОНАСС – это система многоканального доступа с частотным разделением (FDMA). 14 частот позволяют поддерживать 24 спутника, поскольку частотные каналы повторно используются для спутников на противоположных сторонах Земли. Подобно GPS, ГЛОНАСС имеет сигнал стандартной точности для открытого использования и сигнал высокой точности для зарегистрированных военных пользователей. Сигналы обоих типов передаются в поддиапазонах L1 и L2.

Поддиапазон L1:

- $f_{o1} = 1602$ МГц, $Df = 562,5$ кГц (~ 1597-1606 МГц)
- Частота канала поддиапазона L1 = 1602 МГц + ($K * 562,5$ кГц), где K – номер канала (-7, -6, ..., 5, 6)

Диапазон L2:

- $f_{o1} = 1246$ МГц, $Df = 437,5$ кГц (~ 1238-1254) МГц
- Частота канала поддиапазона L2 = 1246 МГц + ($K * 437,5$ кГц), где K – номер канала (-7, -6, ..., 5, 6)



Сигнал C/A поддиапазона L1 для GPS:

все спутники передают сигналы на одной частоте, но с разными ПСП

Сигнал C/A в полосе L1 для ГЛОНАСС (FDMA):

спутники передают сигналы на разных частотах относительно частоты 1602 МГц с использованием одного кода PRN

Примечание: это упрощенная спектрограмма, на ней отсутствуют сигналы боковых лепестков.

Рис. 5. Сравнение сигналов стандартной точности (C/A) в поддиапазоне L1 для GPS и ГЛОНАСС.

Спутники ГЛОНАСС-К нового поколения передают не только сигнал FDMA, но и новый сигнал CDMA. В сигнале CDMA, подобном сигналам GPS и Galileo, используются разные коды ПСП для спутников, передающих сообщения на одной частоте. Но служба местоопределения с помощью сигналов CDMA будет доступна только через несколько лет, когда группировка будет насчитывать достаточное число НКА. Поэтому в данном руководстве по применению описывается только сигнал FDMA.

Компоненты сигнала ГЛОНАСС

Сигнал, передаваемый спутниками ГЛОНАСС, имеет следующие компоненты:

- Несущая
- Дальномерные коды
- Навигационное сообщение
- Меандр

В основном компоненты сигнала ГЛОНАСС схожи с компонентами сигнала GPS, но имеют ряд важных различий. Как было описано в предыдущем разделе, в системе ГЛОНАСС используются две несущие частоты L1 и L2, а каждый спутник использует определенный частотный канал. В сигнал входят дальномерные коды и навигационные данные. Как и в GPS, в ГЛОНАСС имеется открытый код C/A стандартной точности и закрытый код P высокой точности для зарегистрированных пользователей. Но все спутники ГЛОНАСС используют одинаковые дальномерные коды. Код C/A для ГЛОНАСС короче, скорость передачи элементарных посылок (чипов) составляет 511 кбит/с, в то время как скорость передачи элементарных посылок (чипов) кода высокой точности равна 5,11 Мбит/с. Уникальной особенностью ГЛОНАСС является меандровый код – последовательность битов, которая суммируется по модулю 2 с дальномерным кодом и навигационными данными. Ниже показана упрощенная блок-схема генерирования сигнала (рис. 6), на которой не показано создание суперкадра навигационного сообщения перед модуляцией сигнала.

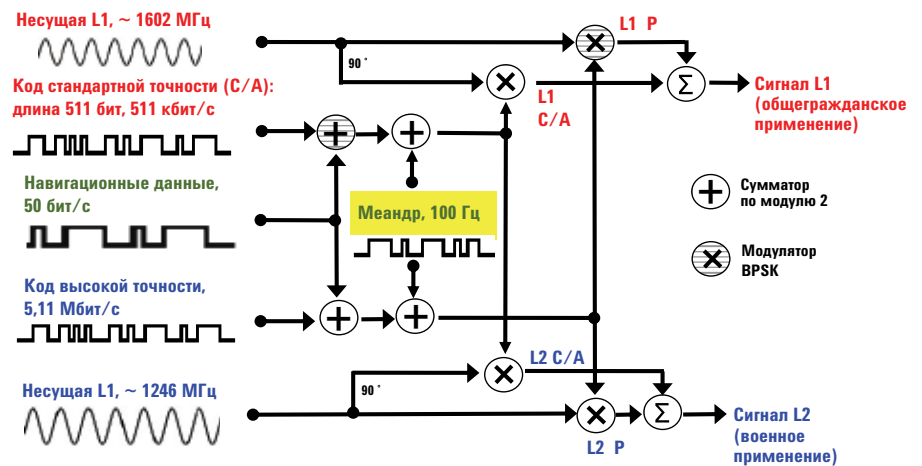


Рис. 6. В системе ГЛОНАСС сигнал стандартной точности и сигнал высокой точности передаются на обеих несущих L1 и L2.

Навигационное сообщение ГЛОНАСС

Навигационное сообщение стандартной точности ГЛОНАСС имеет структуру суперкадра, состоящего из пяти кадров общей длительностью 2,5 мин. Каждый кадр состоит из 15 строк и передается в течение 30 с. Первые четыре строки каждого кадра содержат данные эфемерид, сдвиг шкалы времени НКА относительно шкалы времени системы, сведения о конфигурации бортовой аппаратуры, данные о работоспособности и рабочей частоте НКА. Остальные строки содержат данные альманаха для всех спутников в группировке. Каждая строка содержит навигационные данные, объединенные с меандровым кодом, контрольные биты и временную метку. В качестве метки времени используется фиксированная 30-битовая псевдослучайная последовательность, передаваемая со скоростью 100 бит/с.

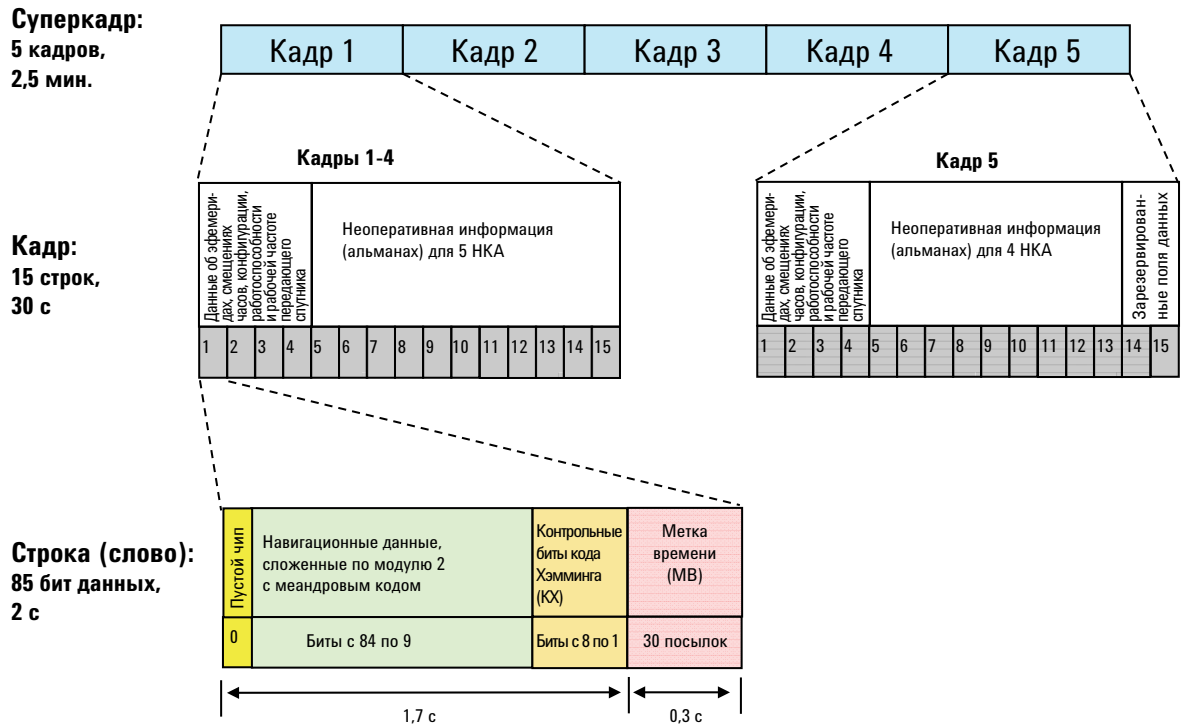


Рис. 7. Структура навигационного сообщения, передаваемого в сигналах спутников ГЛОНАСС.

Система Galileo

Полная группировка Galileo состоит из 27 НКА с тремя резервными спутниками, вращающихся вокруг Земли на высоте 23 222 км в трех орбитальных плоскостях. Каждый НКА Galileo передает сигналы с четырьмя несущими:

- E1 – 1575,42 МГц
- E6 – 1278,75 МГц
- E5a – 1176,45 МГц
- E5b – 1207,14 МГц

Сигналы сильно различаются по составу и модуляции. В этом документе основное внимание уделяется пользовательским устройствам и приложениям для них, поэтому в нем описываются только сигналы E1 открытого сервиса (OS).

Сигнал открытого сервиса E1 системы Galileo

Сигнал открытого сервиса E1 системы Galileo, состоящий из каналов управления E1c и передачи данных E1b, модулируется с использованием CBOC (модуляция с составной двоичной смещенной несущей). Модулированный сигнал передается на той же частоте, что и сигнал L1 GPS. Но GPS использует модуляцию BPSK, поэтому форма спектра соответствует графику функции $\text{sinc}(x)$ с главным лепестком на центральной частоте. Модуляция CBOC (с двоичным сдвигом несущей) приводит к расширению спектра и получению двух боковых составляющих с нулевой энергией на центральной частоте, что позволяет минимизировать помехи для системы GPS. Сигналы CBOC обычно обозначаются как $\text{CBOC}(m,n)$ и $\text{CBOC}(f_s, f_c)$, где частота поднесущей (f_s) = $m * 1,023$ МГц, а частота кодирования (f_c) = $n * 1,023$ МГц. В сигнале CBOC узкополосный сигнал $\text{CBOC}(1,1)$ суммируется с широкополосным сигналом $\text{CBOC}(6,1)$, чтобы минимизировать влияние многолучевого распространения.

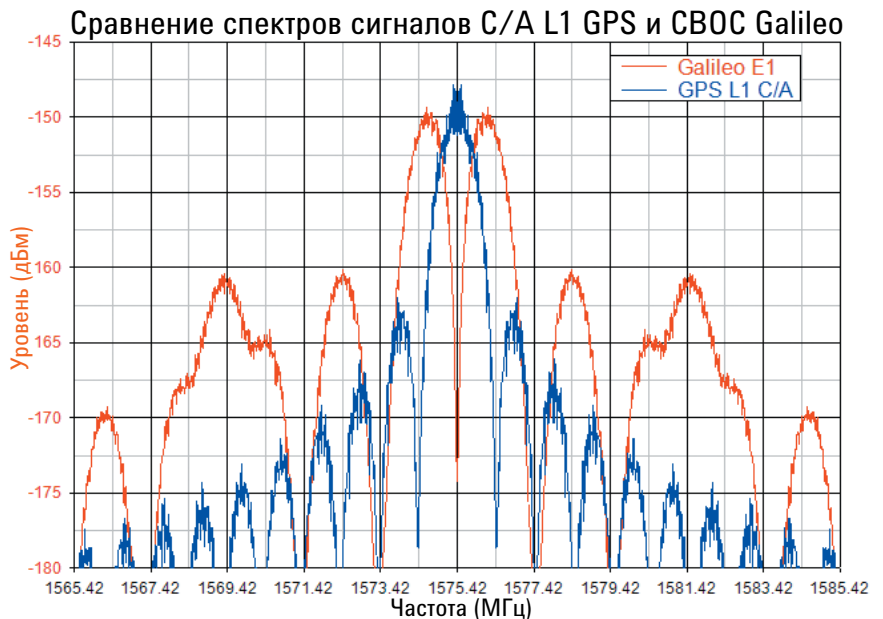


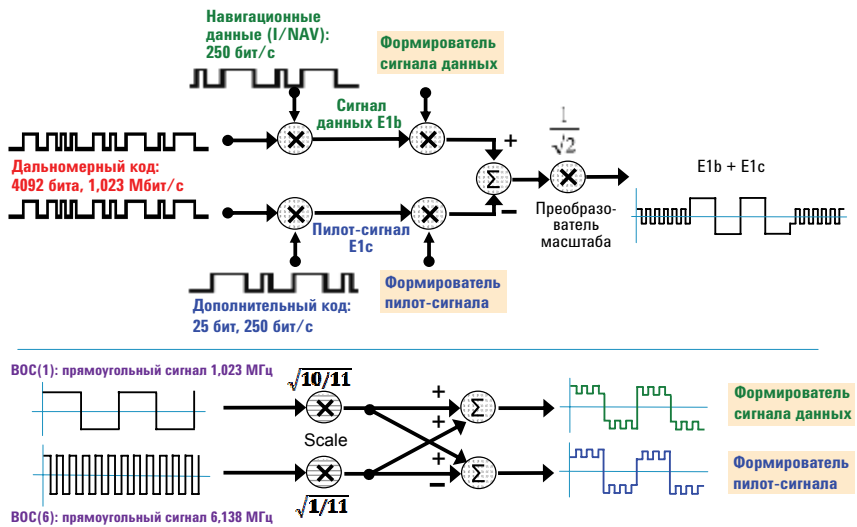
Рис. 8. Сравнение спектров сигнала C/A L1 GPS и сигнала CBOC Galileo.

Компоненты сигнала Galileo

Показанный на рис. 9 сигнал E1 для Galileo включает:

- Дальномерные коды
- Навигационные данные
- Дополнительный код
- Несущую, на которой передаются сигнал данных и пилот-сигнал

В сигнале данных E1b навигационные данные передаются со скоростью 250 бит/с и объединяются с дальномерным кодом длиной 4092 бита, передаваемым со скоростью 1,023 Мбит/с. Как в GPS, каждый спутник имеет уникальный дальномерный код. В пилот-сигнале E1c дальномерный код объединяется не с навигационными данными, а с дополнительным кодом. Последний представляет собой фиксированную 25-битовую последовательность, одинаковую для всех НКА и передаваемую со скоростью 250 бит/с. Оба битовых потока, E1b и E1c, модулируют одну несущую, но в данном случае несущая не является простой синусоидальной волной. Сигнал формируется посредством объединения составляющей BOC(1) – прямоугольного импульсного сигнала 1,023 МГц, с составляющей BOC(6) – прямоугольным импульсным сигналом 6,138 МГц (что в шесть раз больше частоты BOC(1)). Их уровни масштабируются так, чтобы на составляющую BOC(1) приходилось 10/11, а составляющую BOC(6) – 1/11 мощности. Сумма обеих составляющих представляет собой сигнал данных, а разность – пилот-сигнал.



Примечание: данные о навигационном сообщении сигнала высокой точности официально не опубликованы.

Рис. 9. Структура сигналов E1b и E1c системы Galileo.

Навигационное сообщение Galileo

В контрольном документе интерфейса Galileo навигационное сообщение для открытого сервиса E1 обозначается /NAV. Структура сообщения показана на рис. 10. Сообщение представляет собой кадр длительностью 720 с и состоящий из 24 подкадров. Каждый подкадр длительностью 30 с содержит 15 страниц. Каждая страница длительностью 3 с содержит биты синхронизации, за которыми следуют четная и нечетная части страницы. Компоненты частей навигационного сообщения показаны на рис. 10.

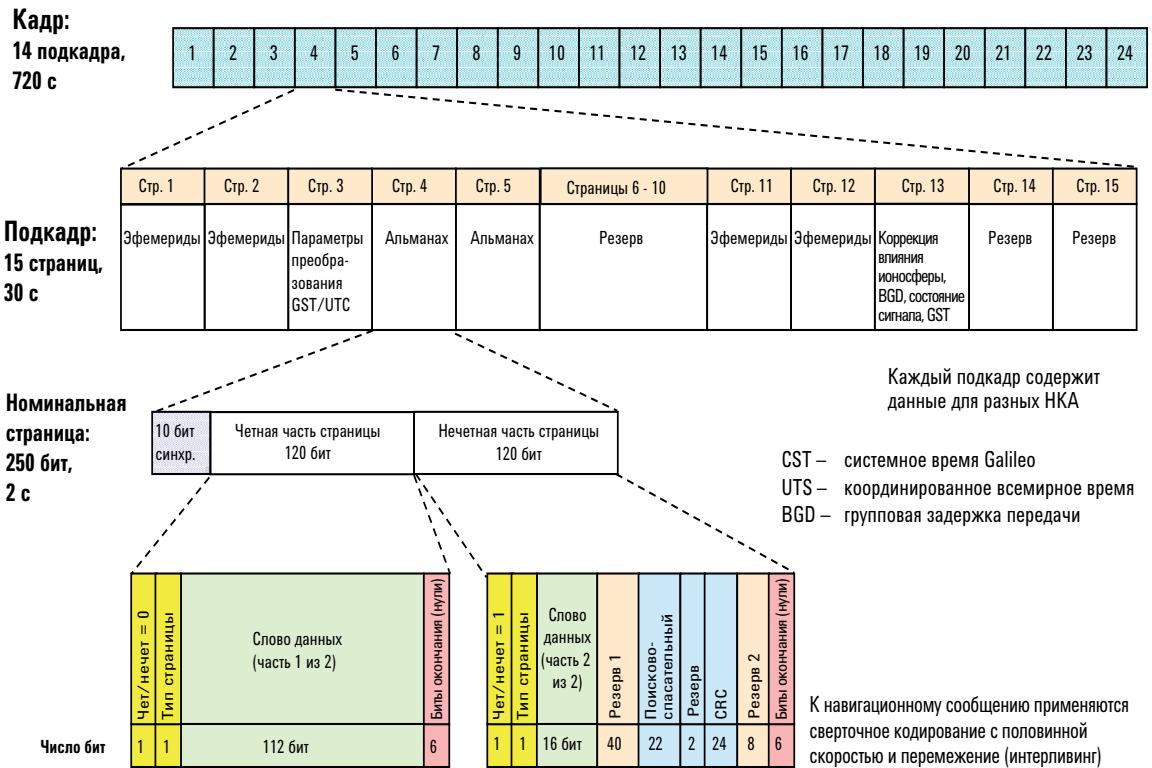


Рис. 10. Структура навигационного сообщения для открытого сервиса E1 системы Galileo.

Система Beidou

Китайская ГНСС, официально называемая «навигационной спутниковой системой», также известна под названием «система Beidou» (BDS). Ранее ее называли Beidou-2, чтобы отличать от экспериментальной системы Beidou-1. Использовалось также наименование Compass, такое же, как у спутников. В отличие от других систем ГНСС, которые используют только НКА на средней околоземной орбите (МЕО), система Beidou имеет 5 НКА на геостационарной орбите (GEO) и 3 спутника на наклонной геостационарной орбите (IGSO). В январе 2013 г. работало 14 спутников. В контрольном документе интерфейса (ICD), выпущенном в декабре 2012 г., рассматривается сигнал B1I открытого сервиса, передаваемый на частоте 1561,098 МГц. Помимо этой частоты, для Beidou выделены диапазоны B2 и B3, перекрывающиеся с диапазонами E5b и E6 для Galileo. В открытых публикациях описания сигналов этих диапазонов отсутствуют, поэтому в настоящем документе рассматривается только сигнал диапазона B1I.

Сигнал, передаваемый спутниками Beidou

Подобно GPS и Galileo, Beidou представляет собой систему многоканального доступа с кодовым разделением каналов (CDMA), в которой для каждого спутника используется свой дальномерный код. Сигналы, передаваемые спутниками на орбитах MEО и IGSO, отличаются от сигналов, передаваемых спутниками на орбите GEO.

Компоненты сигнала Beidou

Сигнал, передаваемый спутниками Beidou, содержит следующие компоненты (рис. 11):

- Дальномерный код
- Дополнительный код (код Неймана-Хоффмана)
- Навигационные данные
- Несущая

Для спутников на орбитах MEO и IGSO дальномерный код длиной 2046 битов умножается на дополнительный код, называемый кодом Неймана-Хоффмана, который представляет собой фиксированную 20-битовую последовательность, передаваемую со скоростью 1 кбит/с. Данные, полученные в результате умножения, объединяются с навигационным сообщением D1, передаваемым со скоростью 50 бит/с. Полученным потоком модулируется несущая B1 (синусоидальный сигнал частотой 561,098 МГц) с помощью модуляции QPSK (квадратурно-фазовая манипуляция). Однако в контрольном документе интерфейса (ICD) указана только действительная составляющая (I) сигнала, что предполагает использование модуляции BPSK (двухпозиционная фазовая манипуляция).

Для спутников на орбите GEO дополнительный код не используется и передается другое навигационное сообщение – D2. Дальномерный код объединяется с данными навигационного сообщения D2, передаваемыми со скоростью 500 бит/с. Объединенными данными модулируется несущая B1 с помощью модуляции QPSK.

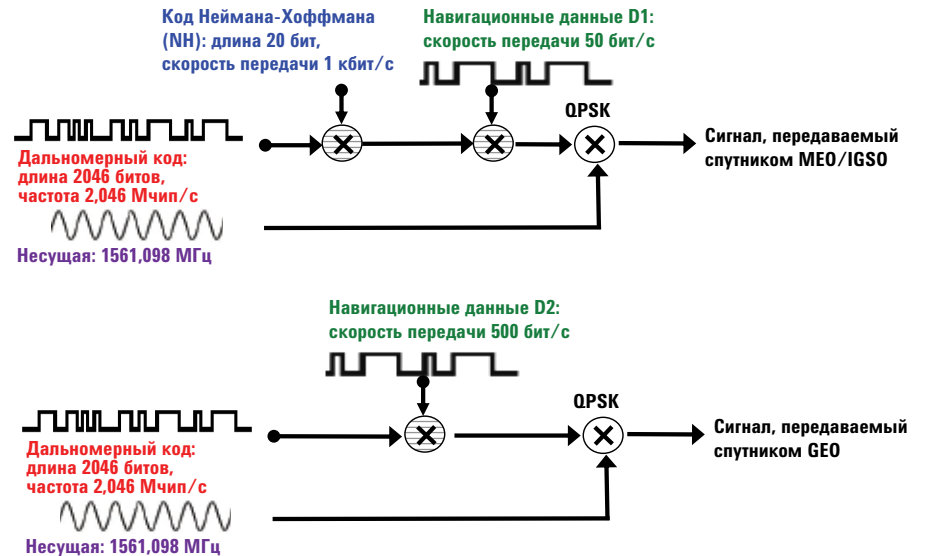


Рис. 11. Структура передаваемых сигналов B1 Beidou.

Навигационное сообщение Beidou

Навигационное сообщение Beidou имеет структуру, подобную аналогичным сообщениям GPS. На рис. 12 показана структура навигационного сообщения D1, передаваемого спутниками MEO и IGSO. Это сообщение представляет собой суперкадр, содержащий 36 000 битов данных в 24 кадрах или страницах. Каждый кадр состоит из пяти подкадров. Первые три подкадра содержат базовую навигационную информацию для передающего спутника, включая данные поправки показаний часов приемника, сведения о конфигурации и работоспособности бортовой аппаратуры НКА, данные эфемерид и параметры модели ионосферы. Подкадры 4 и 5 содержат части данных альманаха для всех НКА и сдвиг шкалы времени НКА относительно шкалы времени других систем ГНСС. Каждый подкадр состоит из 10 слов. Первое слово в каждом подкадре имеет одинаковый формат и содержит преамбулу, идентификатор подкадра, количество секунд с начала недели и биты контроля четности. Остальные слова содержат 22 бита данных, за которыми следуют 8 битов контроля четности.

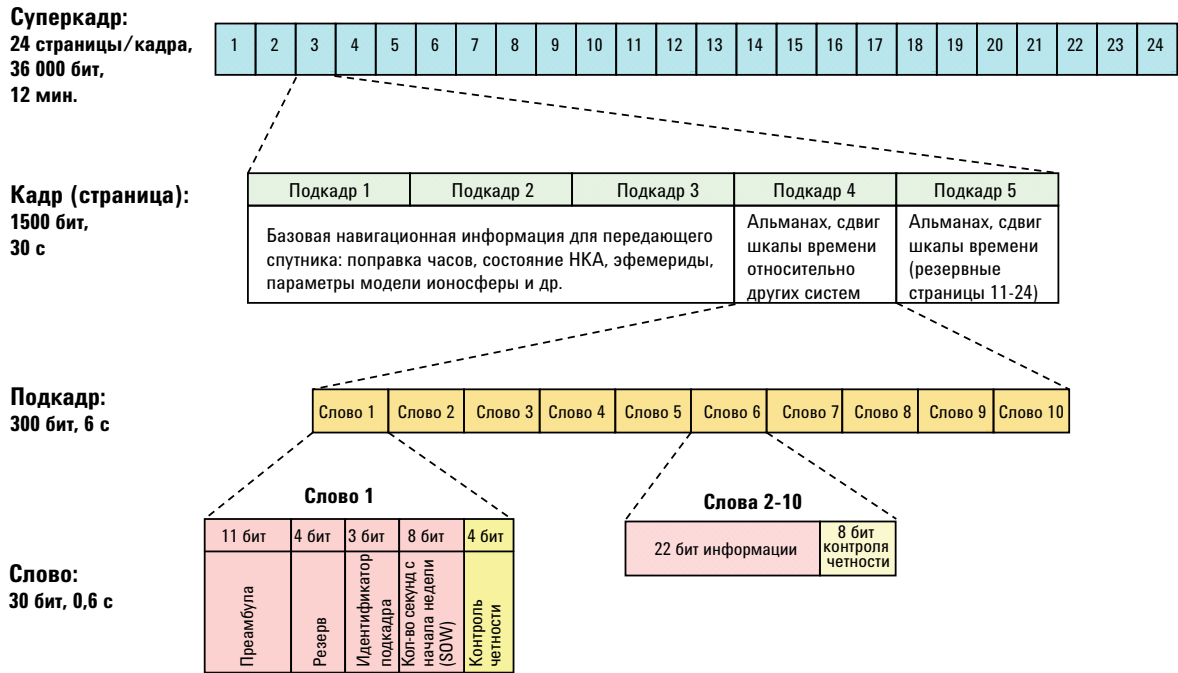


Рис. 12. Структура навигационного сообщения D1, передаваемого спутниками MEO и IGSO.

На рис. 13 показано навигационное сообщение D2, передаваемое спутниками GEO. Сообщение D2 содержит значительно больше информации, чем сообщение D1: один суперкадр сообщения D2 содержит 180 000 битов данных (в 5 больше, чем суперкадр сообщения D1), разбитых на 120 страниц или кадров. Скорость передачи сообщения D2 в 10 раз больше, чем сообщения D1, поэтому суперкадр D2 передается всего за 6 мин. в отличие от суперкадра D1, передаваемого за 12 мин.

Сообщения D2 и D1 имеют похожие структуры кадров, подкадров и слов. Отличие заключается в том, что в сообщении D2 только подкадр 1 используется для передачи базовой навигационной информации для передающего спутника. В подкадрах 2, 3 и 4 передается информация о целостности системы и дифференциальной коррекции. Подкадр 5 используется для передачи данных альманаха, данных модели ионосферы и данных о сдвигах шкалы времени относительно других систем.

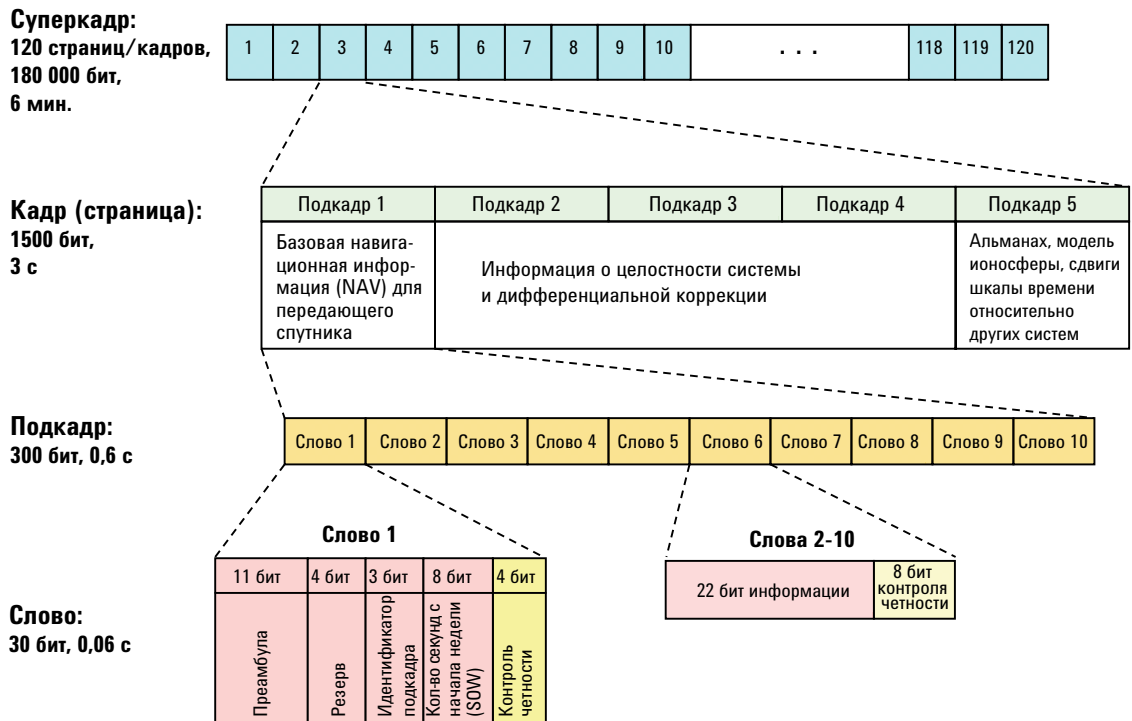


Рис. 13. Структура навигационного сообщения D2, передаваемого спутниками GEO.

Тестирование приемников ГНСС

Для большинства цифровых беспроводных систем тестирование приемника предполагает, например, определение коэффициента ошибок на бит (BER, FER, PER, BLER). Большая часть навигационных данных для приемника ГНСС передается со скоростью всего 50 бит/с, поэтому на измерение коэффициента ошибок на бит BER (типичное значение 1×10^{-6}) может уйти много времени. Поэтому эта процедура выполняется ред-ко. Вместо этого проверяют способность приемника отслеживать спутниковый сигнал и вычислять координаты при разных уровнях мощности и изменениях условий передачи и приема.

Типовые тесты приемника ГНСС

При тестировании приемника ГНСС обычно проверяют время до первого определения местоположения (TTFF), чувствительность приемника и точность определения местоположения. TTFF – это интервал времени между моментом включения приемника и моментом, когда он определит свое местоположение. TTFF можно проверять в условиях холодного, теплого и горячего запуска. При холодном запуске в памяти приемника ГНСС отсутствуют данные о спутниках и поэтому он должен выполнить поиск каждого возможного кода ПСП в диапазоне частот с допуском ± 5 кГц (допуск нужен для учета доплеровского сдвига в сигналах НКА). Кроме того, при холодном запуске приемник должен получить данные эфемерид для каждого НКА, чтобы определить местоположение спутника. В системе GPS для этого требуется принимать корректные данные в течение не менее 18 с. Таким образом, на проверку TTFF при холодном запуске приемника ГНСС с определением его местоположения обычно требуется 30-45 секунд. При теплом запуске приемник, собирая информацию от спутников, пытается использовать хранящиеся в своей памяти координаты своего последнего местоположения, приблизительное значение времени и данные альманаха. При горячем пуске приемник также использует хранящуюся в своей памяти информацию о последних спутниках, данные от которых он использовал, и в первую очередь пытается получить информацию именно от них. Это возможно, если приемник выключался на непродолжительное время, за которое он переместился на небольшое расстояние. В большинстве случаев переключение приемника ГНСС в одно из указанных состояний выполняется с помощью встроенного ПО, которое часто поставляется производителем чипсета приемника.

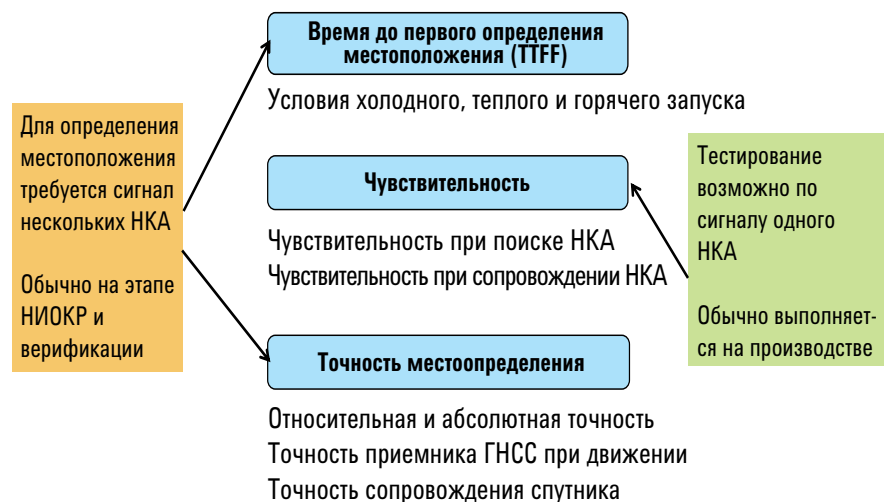


Рис. 14. Типичные тесты приемника ГНСС.

Чувствительность определяется как минимальный уровень принимаемого сигнала при поиске НКА или сопровождении найденного НКА. Этот тест выполняется значительно быстрее, чем тест TTFF; сигнал для него значительно проще, поскольку можно использовать только один спутник; достоверные навигационные данные обычно не требуются.

Точность местоопределения связана со способностью приемника вычислять координаты вблизи от текущего или смоделированного местоположения. Относительная точность определяется на основе сравнений результатов тестов, абсолютная точность – на основе вычисленных координат и смоделированного положения. Точность можно измерять для подвижного или неподвижного приемника. Выполняются и другие тесты, такие как проверка времени повторного захвата сигнала НКА для повторного сопровождения и испытание на помехоустойчивость, но они не так распространены.

Измерения TTFF и точности местоопределения выполняются с использованием сигналов нескольких НКА, чтобы приемник мог вычислять местоположение. Эти тесты часто выполняются на этапе НИОКР и верификации системы, реже – в процессе производства, поскольку тестирование довольно продолжительно. Для проверки чувствительности просто используется сигнал одного спутника; такие тесты обычно выполняются на производстве.

Требования к тестированию приемника ГНСС

Можно попробовать протестировать приемник ГНСС, принимая спутниковые сигналы на его антенну. Но если смотреть на вещи реально, то становится ясно, что результаты такого тестирования будут неполными. Принимаемые сигналы быстро изменяются и не повторяются. Может оказаться, что в конкретное время и в конкретном месте достаточные спутниковые сигналы могут вообще отсутствовать. Кроме того, в особых условиях, например, в некоторых местах или при высоких скоростях тестирование может быть очень дорогим и трудозатратным.

Можно использовать систему записи и воспроизведения, имитирующую сигнал ГНСС для тестирования приемника. Она выдает мало повторяющийся тестовый сигнал. В процессе воспроизведения записанных сигналов их нельзя изменять, регулировать или добавлять искажения.

Для решения этих проблем можно использовать симулятор сигналов ГНСС. Симулятор выдает сигнал, который моделирует сигнал, принимаемый приемником ГНСС (смесь сигналов от разных НКА с разными задержками, доплеровскими сдвигами и уровнями мощности). Таким образом, симулятор ГНСС реального времени позволяет изменять сигнал в процессе его генерирования. Еще одно преимущество симулятора ГНСС – возможность моделирования сигналов, позволяющих тестировать системы типа Galileo и BeiDou до того, как они будут полностью развернуты.

Тестовые сигналы ГНСС, используемые в ходе НИОКР и для проверки правильности проектирования

Рассмотрим основные функции симулятора ГНСС, которые могут потребоваться для выполнения указанных выше тестов. Некоторые из этих функций и требования к выполнению тестирования приведены в табл. 1.

Таблица 1. Требования к имитации сигналов ГНСС

| Функция | Требования к тестированию |
|--|--|
| Несколько каналов для имитации нескольких спутников для каждой группировки НКА | Минимум 4 спутника для TTFF. Одновременное нахождение в зоне видимости до 12 или 13 спутников. |
| Имитация нескольких группировок ГНСС | Тестирование способности приемника использовать каждую группировку по отдельности или объединять сигналы спутников из нескольких группировок для вычисления своего местоположения. |
| Сценарии для неподвижного или движущегося приемника ГНСС | Тестирование более реального и сложного случая для движущегося приемника, и более простого случая для неподвижного приемника. |
| Регулировка уровней мощности спутниковых сигналов в реальном времени, имитация появления и исчезновения НКА в зоне видимости | Проверка чувствительности и возможности повторного захвата сигнала от НКА. |
| Возможность создания собственного сценария | Гибкость составления сценариев для любой даты, времени, местоположения или траектории движения приемника. |

Для НИОКР или верификации проектов симулятор ГНСС должен имитировать минимум 4 спутника на группировку. Желательно, чтобы спутников было не менее 12 для имитации максимального числа видимых НКА (тогда пользователь сможет воспроизводить сигналы всех НКА, которые можно увидеть из любой точки Земли). Кроме того, симулятор должен воспроизводить сценарии для неподвижного и движущегося приемников, чтобы можно было измерить TTFF, а также проверить способность приемника отслеживать спутники и определять свое местоположение в движении. Способность имитировать видимость НКА и регулировать уровни мощности спутниковых сигналов в реальном времени позволяет проверять чувствительность приемника и его способность повторно захватывать сигналы конкретного НКА. При тестировании для НИОКР необходимо создавать сценарии для любой даты, времени и местоположения приемника.

Внесение искажений в сигнал с помощью симулятора ГНСС позволяет на этапе НИОКР проверять предельные характеристики приемника ГНСС в широком диапазоне различных условий. Искажения могут имитировать многолучевое распространение, вызванное переотражением спутниковых сигналов от зданий, деревьев и других препятствий. Сигналы многолучевого распространения отличаются от «прямых» спутниковых сигналов меньшим уровнем мощности, а также наличием задержек и доплеровских сдвигов. Управляя «видимостью» спутников, можно имитировать частичную или полную потерю видимости из-за наличия препятствий на линии визирования. С помощью маски по углу места можно ограничивать видимость спутников определенным углом места, что полезно при моделировании препятствий в виде гор или окружающих зданий. Моделирование атмосферного затухания, ионосферной и тропосферной задержек позволяет подавать еще более реальный сигнал на приемник ГНСС. Добавляя калиброванный аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ) к сигналу ГНСС, можно точно регулировать отношение сигнал/шум в канале.

Таблица 2. Искажения сигнала ГНСС

| Функция | Требования к тестированию |
|---|---|
| Имитация многолучевого распространения (требуется больше каналов) | Имитация реального приема сигналов, отраженных от препятствий |
| Имитация ухудшения видимости спутников (частичной или полной, с помощью маски угла места) | Проверка потери видимости из-за наличия препятствий |
| Моделирование влияния ионосферы и тропосферы на сигнал | Учет влияния атмосферы на сигналы ГНСС (преломление, задержка) |
| Добавление калиброванного АБГШ | Добавление широкополосного шума для регулировки отношения сигнал/шум сигнала ГНСС |
| Моделирование антенны приемника ГНСС | Имитация влияния антенны для более реалистичного тестирования приемника |

Сигналы для тестирования приемника ГНСС в процессе производства

Для измерения TTFF на производстве часто используется простой статический сигнал одного спутника. С его помощью определяется, может ли приемник обнаружить спутниковый сигнал, измерить его уровень и затем отслеживать этот спутник. Эти проверки выполняются быстрее, чем обычная проверка TTFF, заканчивающаяся вычислением местоположения и требующая 30-45 секунд. Для тестирования можно использовать статический спутниковый сигнал или файл с записанным сигналом, обходясь без реальных навигационных сообщений.

Тестирование приемника ГНСС с помощью программного обеспечения N7609B Signal Studio for GNSS

Чтобы выполнить требования, изложенные в предыдущем разделе, Keysight предлагает программное обеспечение N7609B Signal Studio for GNSS, используемое совместно с генератором сигналов, формирующими модулирующие и РЧ сигналы для тестирования приемников ГНСС.

ПО N7609B Signal Studio позволяет в реальном времени имитировать спутниковые сигналы диапазона L1 с кодом C/A для систем GPS и ГЛОНАСС, сигналы открытого сервиса E1 для Galileo и сигналы открытого сервиса B1 для Beidou. Для каждой группировки можно имитировать до 15 НКА в зоне прямой видимости. Для GPS, ГЛОНАСС и/или Beidou доступно до 40 каналов, включая принимаемые по линии визирования и многолучевые, с дополнительными 16 каналами для Galileo. ПО позволяет в реальном времени регулировать видимость спутников и уровень мощности принимаемых сигналов, добавлять ошибку измерения псевдодальности или многолучевые искажения. Можно составлять сценарии для моделирования неподвижных или движущихся приемников для любого местоположения, даты и времени.

Схема измерений для приемника ГНСС

На рис. 15 показаны два варианта схем измерений, в которых ПО N7609B используется для тестирования приемников ГНСС. В первой схеме мы видим генератор сигналов Keysight серии X, формирующий сигналы в реальном времени. ПО N7609B запускается на внешнем ПК. Пользователь может задавать параметры сигнала и создавать сценарий. Эта информация загружается в генератор сигналов серии X, ПЛИС которого запрограммированы для формирования сигнала ГНСС в реальном времени. Генератор сигналов EXG/MXG выдает имитированные РЧ сигналы ГНСС на тестируемый приемник. Приемник через USB-шину соединен с ПК, на котором запущено ПО управления и контроля приемника ГНСС для отображения результатов теста.

В нижней схеме используется генератор модулирующих сигналов и эмулятор канала N5106A PXB. В этом случае ПО N7609B запускается в генераторе PXB, как часть его встроенного ПО. Оно генерирует данные сценария и конфигурирует генератор PXB для формирования модулирующих сигналов ГНСС в реальном времени. Для получения выходного РЧ сигнала можно использовать векторный генератор сигналов серий EXG, MXG или ESG, который преобразует квадратурные модулирующие сигналы в РЧ сигнал. Если генератор EXG или MXG используется как преобразователь с повышением частоты, то дополнительный генератор модулирующих сигналов не требуется.

Если на производстве требуется просто проверить входной РЧ каскад приемника, когда не нужно генерировать модулирующий сигнал в реальном времени, то можно воспользоваться базовой функцией ПО N7609B для генерирования файлов форм сигналов, позволяющих имитировать один спутниковый сигнал для GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou, SBAS или QZSS. Эти файлы могут быть воспроизведены с помощью векторных генераторов сигналов N5172B EXG, N5182A/B MXG, E4438C ESG, E8267D PSG или M9381A PXIe, а также комплектов для тестирования устройств беспроводной связи E6607 EXT или E6630A и генератора модулирующих сигналов N5106A PXB.

Далее рассмотрим имитацию сигнала ГНСС нескольких спутников в реальном времени для более сложного тестирования приемника. В верхней схеме на рис. 15 в качестве тестируемого устройства используется однокристалльный приемник GPS u-blox 6 производства компании u-blox AG.



Рис. 15. Использование ПО N7609B Signal Studio для тестирования приемников ГНСС.

Генерирование сигналов ГНСС в реальном времени

ПО N7609B содержит несколько файлов готовых сценариев, с помощью которых пользователь может быстро приступить к тестированию. Для генерирования сигналов с использованием этих сценариев следует запустить ПО N7609B и перейти на главную страницу настройки параметров «GNSS», показанную на рис. 16. В стандартном режиме имитации (Simulation Mode) «Navigation» выдаются сигналы нескольких спутников с навигационными сообщениями, позволяющими приемнику вычислять свое местоположение. Можно выбрать режим «Static Test», в котором навигационные данные и характеристики спутников не изменяются без участия пользователя. Параметр Scenario Source позволяет выбрать вариант «User Scenario File», в котором используется пользовательский файл сценария для генерирования неповторяющихся сигналов в течение до 24 часов, или вариант «Scenario Generator Settings», в котором создаются файлы коротких сценариев, непрерывно загружаемые в прибор для увеличения времени воспроизведения имитационного сценария. В режиме настройки «Scenario Generator Settings» прибор должен быть соединен с ПК. Воспроизводить сигналы из сохраненных файлов сценариев можно и без подсоединения к ПК. Чтобы перейти к предварительно сохраненному файлу сценария, нужно открыть пункт «User Scenario File», а затем щелкнуть на Scenario File, чтобы выбрать файл. В составе ПО N7609B имеется несколько файлов готовых сценариев.

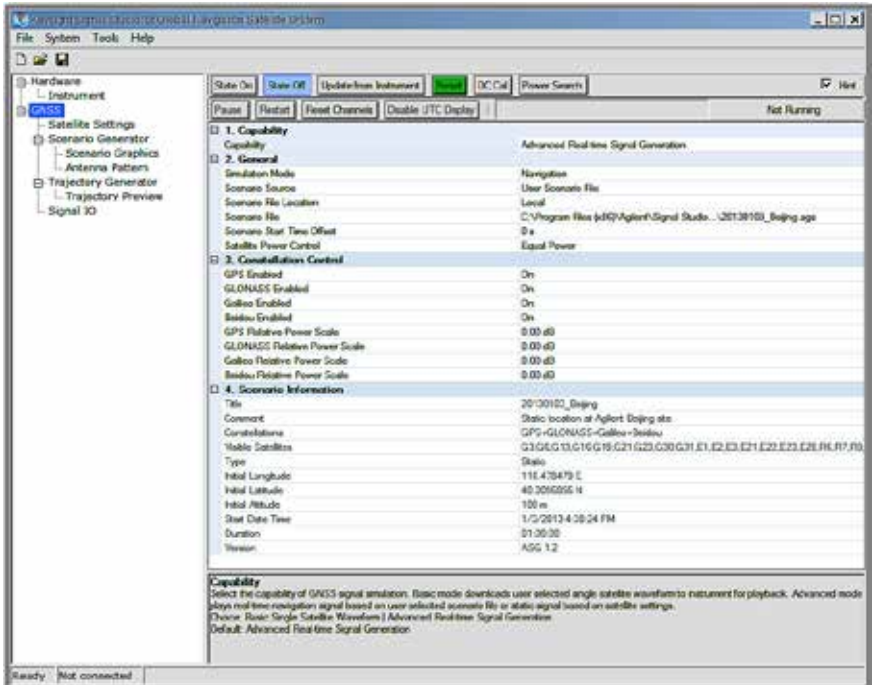


Рис. 16. Главная страница настройки параметров «GMSS» ПО N7609B.

Раздел Constellation Control (Управление группировкой) позволяет легко включать или выключать все спутники в каждой группировке ГНСС или регулировать уровень сигнала для всех спутников в группировке. В разделе Scenario Information отображается подробная информация о выбранном файле сценария. Стандартный файл сценария имитирует статическое местоположение приемника с отображением широты, долготы и высоты, причем одновременно отображается информация о спутниках, которые видны в начале сценария.

Если щелкнуть мышью на Instrument в левой панели, то можно установить уровень выходной мощности. Щелкнув затем на кнопке State On, можно начать генерирование сигнала.

При воспроизведении сигнала программное обеспечение контроля приемника выдает информацию от тестируемого приемника. В качестве примера на рис. 17 показано окно ПО u-Center от компании u-blox. Зеленым цветом показаны спутники, которые отслеживает и использует приемник, отношение сигнал/шум для каждого спутника (центральная нижняя панель), вид спутников на карте неба (средняя правая панель), рассчитанное местоположение, время первого определения местоположения (TTFF), снижение точности в горизонтальной плоскости (HDOP) и снижение точности в вертикальной плоскости (VDOP) (верхнее правое окно).

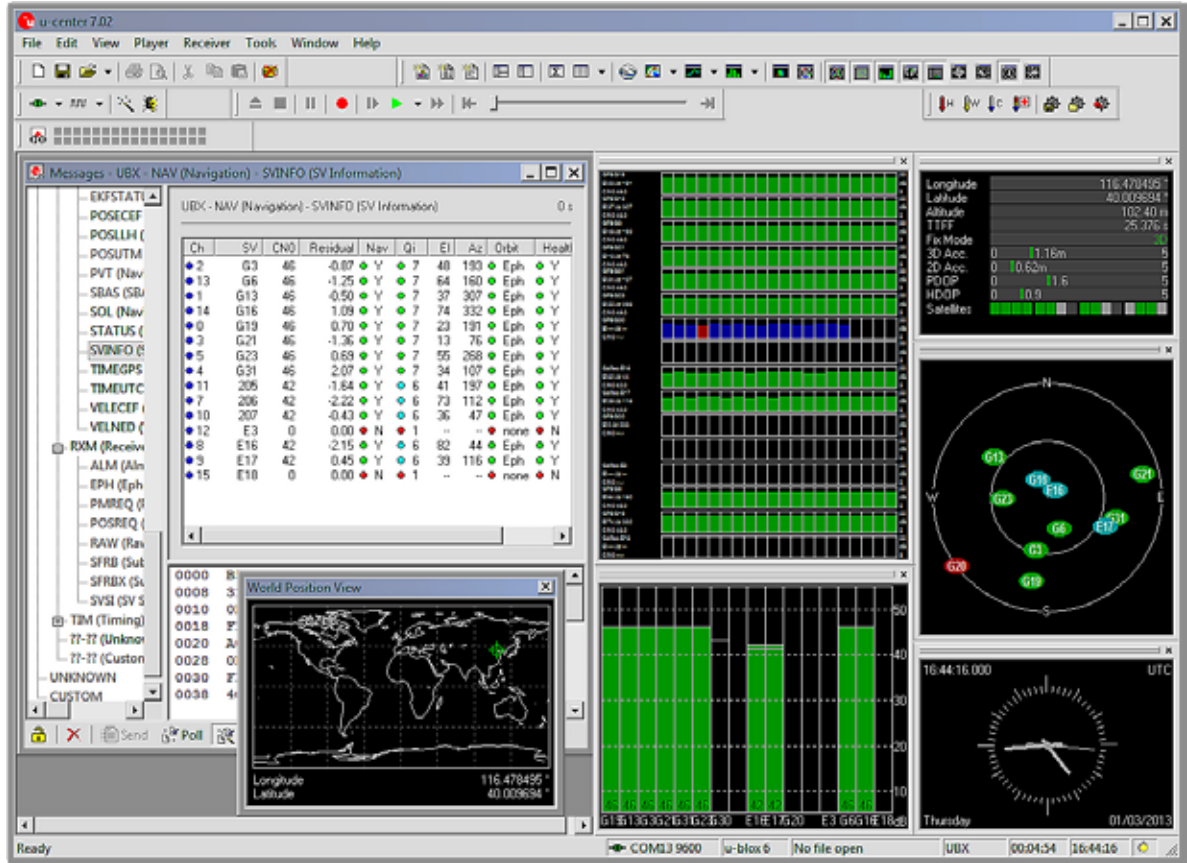


Рис. 17. ПО контроля приемника отображает информацию о навигационных космических аппаратах.

Управление спутниковыми сигналами в реальном времени

На рис. 18 показана страница «Satellite Settings», которую можно использовать для регулировки мощности и видимости отдельных спутников или их группировок, а также для добавления искажений к сигналам в процессе их воспроизведения.

| Channel | Group | SV ID | Enabled | Frequency | Relative Power Scale (dB) | Power (dBm) | Pseudorange (m) | Pseudorange Error (m) | Doppler Shift (Hz) | Multipath |
|---------|-------|-------|---------|-----------|---------------------------|-------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-----------|
| 1 | 1 | G2 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 20453607.56 | 0.00 | 966.05 | 0 Taps |
| 2 | 1 | G4 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 21337671.84 | 0.00 | -1873.58 | 0 Taps |
| 3 | 1 | G6 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 21184644.68 | 0.00 | 1623.84 | 0 Taps |
| 4 | 1 | G10 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 20277616.20 | 0.00 | -1393.66 | 0 Taps |
| 5 | 1 | G12 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 23291792.23 | 0.00 | -1832.96 | 0 Taps |
| 6 | 1 | G13 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 22789858.19 | 0.00 | -1384.17 | 0 Taps |
| 7 | 1 | G26 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 23874799.22 | 0.00 | -42.49 | 0 Taps |
| 8 | 1 | G29 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 24967876.73 | 0.00 | 3465.23 | 0 Taps |
| 9 | 1 | R5 | ☑ | E5 | 0.00 | -113.62 | 19677241.63 | 0.00 | -1829.43 | 0 Taps |
| 10 | 1 | R7 | ☑ | E5 | 0.00 | -113.62 | 20306855.63 | 0.00 | 2561.59 | 0 Taps |
| 11 | 1 | R11 | ☑ | E5 | 0.00 | -113.62 | 19300862.84 | 0.00 | -1865.01 | 0 Taps |
| 12 | 1 | R22 | ☑ | E5 | 0.00 | -113.62 | 20428737.98 | 0.00 | 2250.81 | 0 Taps |
| 13 | 1 | R26 | ☑ | E5 | 0.00 | -113.62 | 22624228.17 | 0.00 | -3888.51 | 0 Taps |
| 14 | 1 | R5 | ☑ | E1 | 0.00 | -113.62 | 23620804.79 | 0.00 | 4806.86 | 0 Taps |
| 15 | 1 | G17 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 23818175.62 | 0.00 | -3632.58 | 0 Taps |
| 16 | 1 | G25 | ☑ | L1 | 0.00 | -113.62 | 24861333.56 | 0.00 | 2731.71 | 0 Taps |
| 17 | 1 | E3 | ☑ | E1 | 0.00 | -113.62 | 26997829.69 | 0.00 | 2746.98 | 0 Taps |
| 18 | 1 | E4 | ☑ | E1 | 0.00 | -113.62 | 23452544.05 | 0.00 | 763.20 | 0 Taps |
| 19 | 1 | E5 | ☑ | E1 | 0.00 | -113.62 | 24800662.15 | 0.00 | -1719.80 | 0 Taps |
| 20 | 1 | E23 | ☑ | E1 | 0.00 | -113.62 | 25509662.99 | 0.00 | 2505.24 | 0 Taps |
| 21 | 1 | E24 | ☑ | E1 | 0.00 | -113.62 | 23334514.15 | 0.00 | 477.97 | 0 Taps |
| 22 | 1 | E25 | ☑ | E1 | 0.00 | -113.62 | 24654711.56 | 0.00 | -1496.79 | 0 Taps |
| 23 | 1 | E30 | ☑ | E1 | 0.00 | -113.62 | 26435962.76 | 0.00 | -2230.37 | 0 Taps |

Group
Enable or disable group selection for the satellite channel. Parameter change in any channel of the group will be applied to all enabled group channels.

Рис. 18. Страница «Satellite Settings» для управления отдельными спутниковыми сигналами в реальном времени.

В столбце «SV ID» показаны все НКА в зоне видимости. НКА GPS обозначаются буквой «G», Galileo – «E», ГЛОНАСС – «R», BeiDou – «B». Для каждого НКА можно выполнять следующие действия: включать/выключать сигнал НКА (столбец «Enabled»); вводить значение, на которое уменьшается мощность (столбец «Relative Power Scale, db»), добавлять ошибку измерения псевдодалности (столбец «Pseudorange Error, m») или эффект многолучевого распространения (столбец «Multipath»). В столбце «Group» можно выбрать спутники, для которых изменения будут применены одновременно. Управление в реальном времени позволяет моделировать искажения, например, потерю видимости из-за наличия препятствий или ошибку измерения псевдодалности, и быстро оценивать влияние искажения на работу приемника.

Создание собственных сценариев для любого времени, даты и местоположения

Возможность создания собственных сценариев широко используется инженерами на этапе НИОКР для более гибкого тестирования приемников ГНСС. В собственном сценарии можно установить любое время, дату и местоположение. Эти возможности предоставляет функция генератора сценариев в ПО N7609B. На рис. 19 показана страница «Scenario Generator» для создания «статического» сценария с целью имитации стационарного приемника.

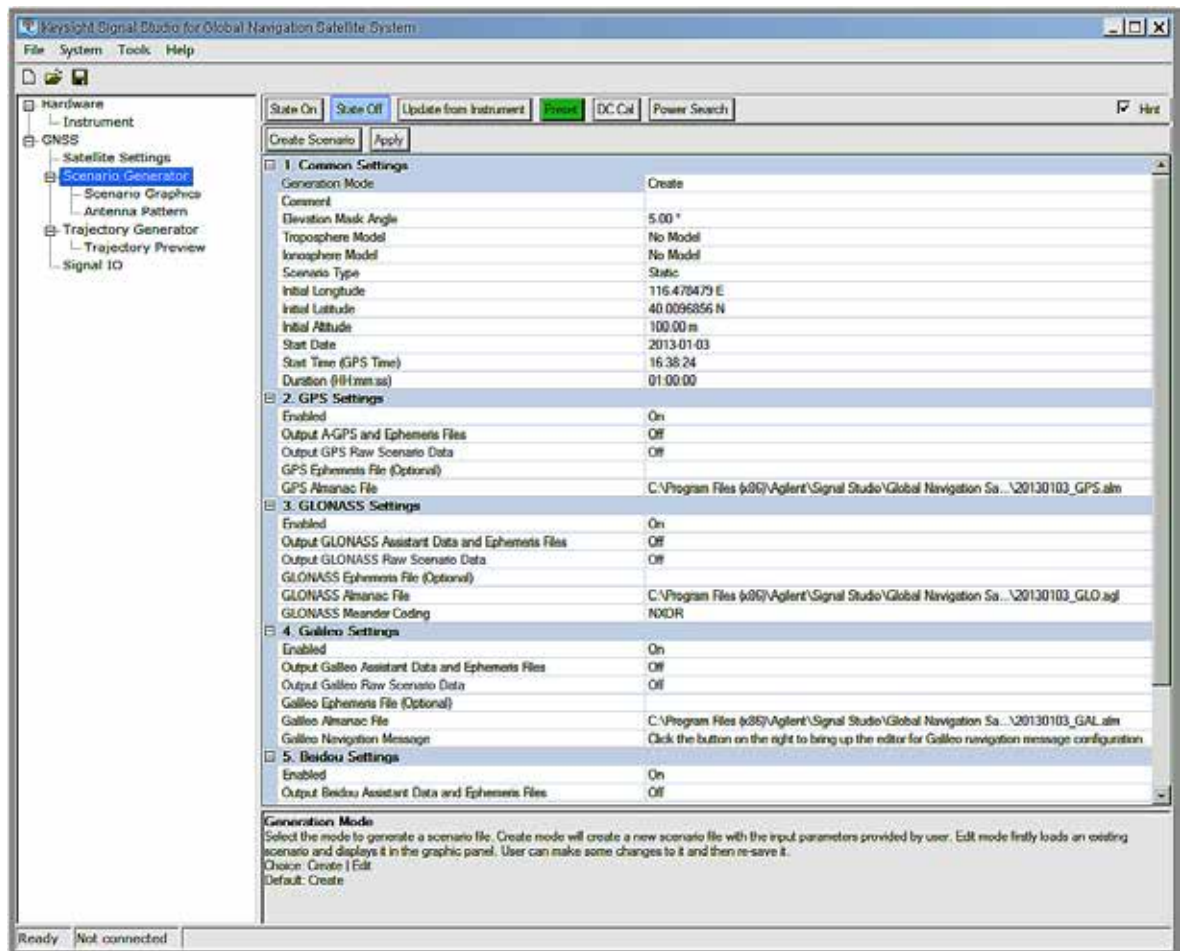


Рис. 19. Страница «Scenario Generator» для создания «статического» сценария.

При создании «статического» сценария пользователь задает требуемое местоположение, дату и время начала, а также длительность сценария (до 24 часов). Можно изменять маску угла места, моделировать влияние тропосферы и ионосферы. После активации моделей генератор сценариев вводит их параметры в навигационное сообщение и вносит искажения в сигнал ГНСС.

Пользователь может выбирать группировки НКА для включения в сценарий. Для каждой требуемой группировки необходимо выбрать файл альманаха, чтобы задать описание местоположений спутников для заданных времени и даты сценария. Файлы формата YUMA для GPS можно найти на сайте <http://navcen.uscg.gov/gps/almanacs.htm>, файлы альманаха для ГЛОНАСС – на сайте <ftp://ftp.ГЛОНАСС-iac.ru/MCC/ALMANAC>. Файлы альманаха для Galileo или Beidou пока недоступны в интернете. Для этих группировок ПО N7609B использует измененные версии файлов альманаха GPS. ПО позволяет редактировать файлы альманаха для изменения даты и времени требуемой имитации.

Для тестирования приемника усовершенствованной ГНСС (A-GNSS), генератор сценариев принимает файлы с данными эфемерид, используемые при выполнении проверок на совместимость, и выдает данные поддержки A-GNSS и данные эфемерид для каждого сценария.

Генератор может создавать «динамический» сценарий для имитации движущегося приемника ГНСС. На рис. 20 показаны настройки, похожие на настройки «статического» сценария, за исключением параметров местоположения, которые заменены выбираемым файлом сообщений NMEA (Протокол связи морского навигационного оборудования) формата GGA или RMC, чтобы задавать траекторию приемника как последовательность местоположений с метками времени. NMEA задает спецификацию для передачи данных между разными типами морского навигационного оборудования. Приемники ГНСС используют форматы данных NMEA для выдачи данных. Несколько файлов формата GGA включены в ПО N7609B в качестве примеров. Утилита генерирования траекторий, используемая для создания этих файлов, будет описана ниже. Данные формата GGA от приемника ГНСС могут быть записаны с использованием программного обеспечения ввода-вывода и управления, предоставляемого производителем этого приемника.

При наличии файла сообщений NMEA, дата и время считываются из него и отображаются как значения по умолчанию. При необходимости пользователь может заменить их собственными настройками.

Подробная информация о других параметрах генератора сценариев приведена во встроенной справочной системе ПО N7609B. После ввода параметров следует щелкнуть мышью на кнопке «Create Scenario», чтобы создать и сохранить файл сценария. Позже этот файл можно будет выбрать на главной странице настройки параметров «GNSS» и использовать для генерирования сигналов ГНСС в реальном времени.

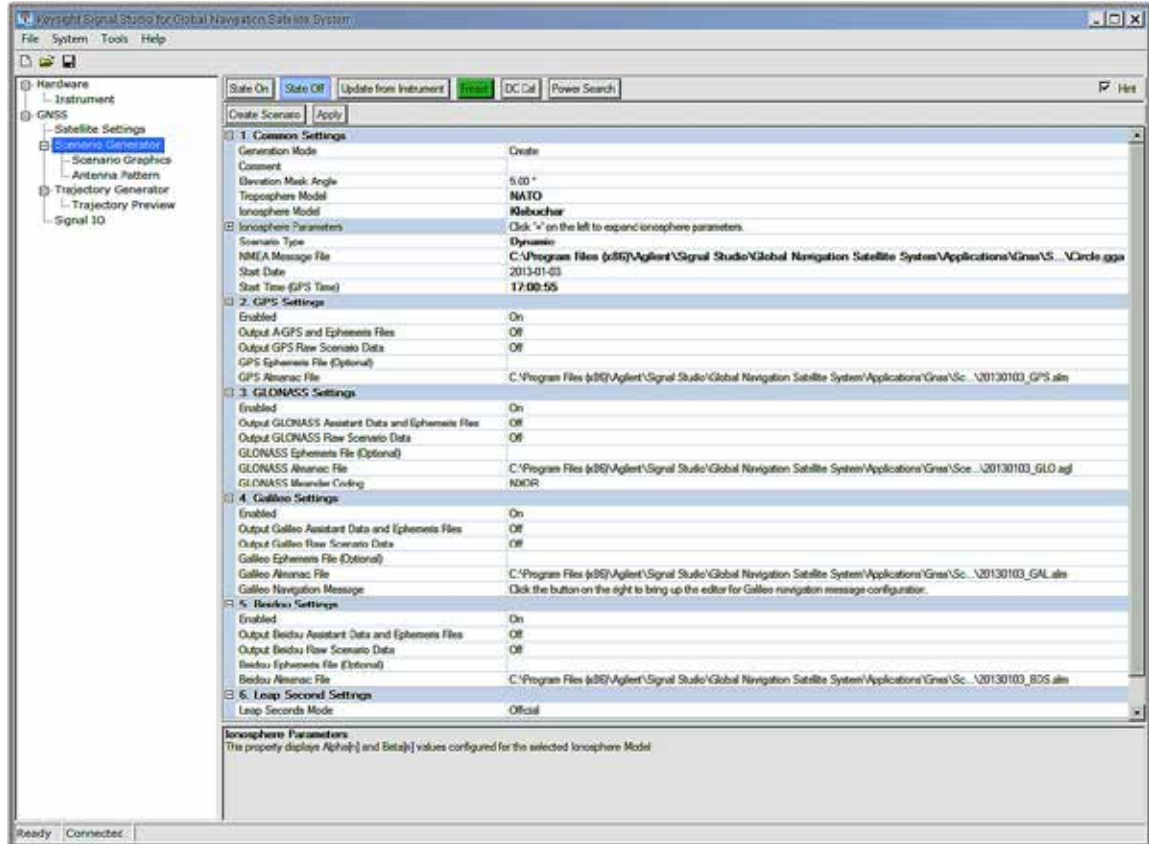


Рис. 20. Страница «Scenario Generator» для создания «статического» сценария.

Чтобы создать динамический сценарий, перейдите на страницу параметров настройки генератора сценариев, показанную на рис. 20, и выберите для «Scenario Type» настройку «Dynamic». Для параметра «NMEA Message File» выберите файл траектории «Circle.gga», поставляемый в составе ПО N7609B. Другие параметры могут иметь значения по умолчанию или изменяются пользователем по своему усмотрению. Щелкните мышью на кнопке «Create Scenario», чтобы сгенерировать и сохранить файл сценария. Щелкните мышью на «GNSS» в левой панели окна и выберите этот файл сценария, а затем щелкните мышью на «State On» для генерирования сигнала в реальном времени.

На рис. 21 показаны результаты использования этого сигнала для тестирования малогабаритного приемника NV08C-CSM от NVS Technologies, поддерживающего навигационные системы GPS, ГЛОНАСС и Galileo. Ниже показан снимок экрана ПО STOREGIS, поставляемого компанией NVS Technologies. В нижней части снимка мы видим отношение сигнал/шум, показанное в виде столбиков разного цвета для разных навигационных систем: GPS – синих, ГЛОНАСС – красных, Galileo – оранжевых. На графике в верхней правой части показана траектория приемника, представляющая собой окружность с радиусом 1 км и центром в точке с координатами 37,0° с. ш. и 122° з. д. В разделе «Position» на снимке показана скорость 100 км/ч.

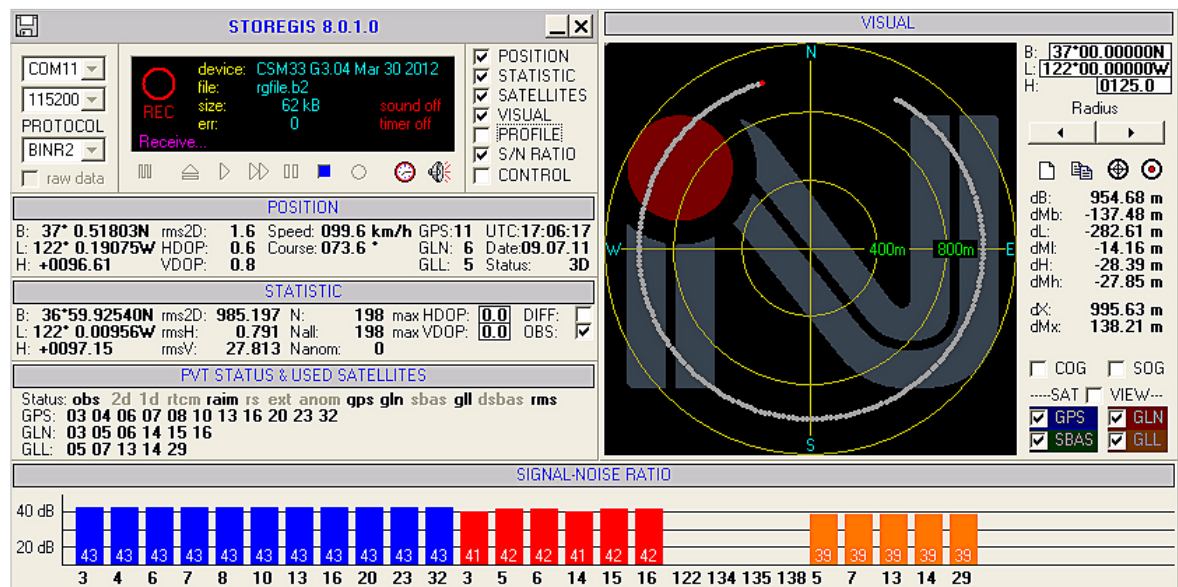


Рис. 21. Информация, полученная от приемника NV08C-CSM: навигационные спутники в зоне видимости и траектория приемника для теста с «динамическим» сценарием.

Редактирование файлов сценариев для получения искажений с высокой повторяемостью

Файлы сценариев можно изменять с помощью функции редактирования сценариев, которая позволяет добавлять искажения с высокой повторяемостью, чтобы можно было выполнять несколько тестов в одинаковых условиях. С помощью этой функции можно вводить снижение уровня мощности для одного или нескольких спутников в течение одного интервала времени, чтобы имитировать условия, связанные со снижением уровня спутниковых сигналов при прохождении автомобиля через тоннель. Чтобы добавить эффект многолучевого распространения, нужно выбрать спутник в зоне прямой видимости, назначить многолучевой канал, задать время начала и конца действия эффекта, задержку и снижение уровня мощности (см. рис. 22). С помощью функции редактирования можно удалить канал из сценария или сократить длительность сценария.

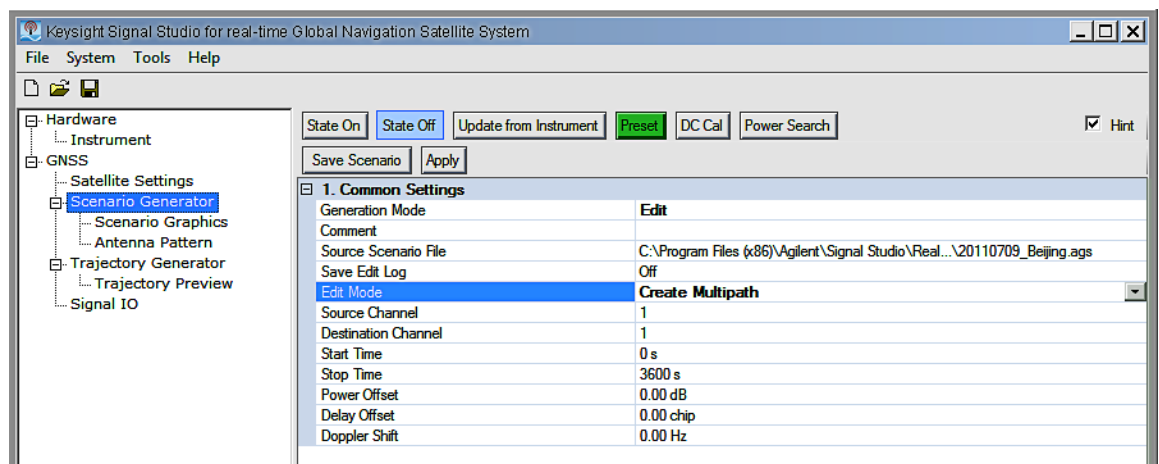


Рис. 22. Настройки для добавления многолучевого сигнала.

ПО N7609B отображает окно «Scenario Graphics» – графическое изображение сценария, позволяющее оценивать наличие спутников в каждом канале по времени. Это изображение представлено на рис. 23. Спутники идентифицируют по цвету и буквенно-цифровому обозначению. В нижней части показаны изменения, внесенные при редактировании сценария.

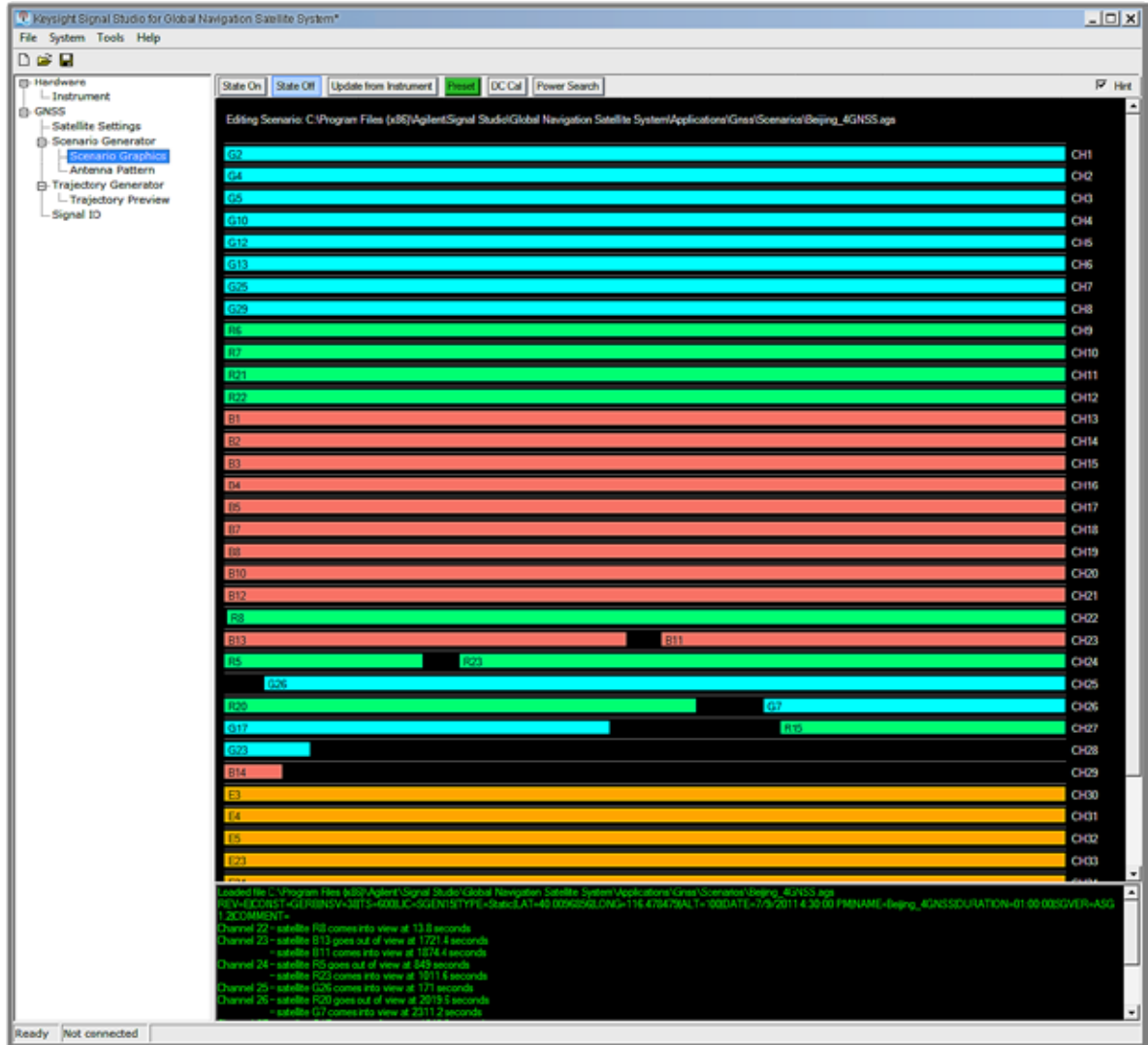


Рис. 23. Окно «Scenario Graphics», показывающее наличие спутников в каждом канале по времени, а также изменения, сделанные при редактировании.

Утилита «Trajectory Generator»

Утилита генерирования траектории создает файлы сообщений NMEA в формате GGA, в которых описывается движение приемника. Файлы используются при генерировании «динамических сценариев» для проверки способности приемника следить за спутниками и выдавать точную информацию о своем местоположении при движении с разными скоростями.

Чтобы описать траекторию движения приемника, пользователь составляет список сегментов, таких как прямые линии, повороты и состояния ожидания движения, с информацией о скорости, ускорении и т.д. Предусмотрена возможность создания траектории с использованием приложения Google Earth или Google Maps, сохранения траектории в виде файла с расширением *.KML и импорта этого файла для его преобразования в файл сообщения NMEA.

С помощью утилиты генерирования траектории вы можете:

- Задавать начальное местоположение и частоту выборки
- Добавлять и удалять сегменты, представляющие собой состояние ожидания движения, прямую линию или поворот, или выбирать предварительно заданную кривую
- Задавать изменения скорости и ускорения по времени или расстоянию
- Предварительно просматривать на дисплее траекторию движения приемника
- Сохранять данные траектории в файле формата GGA для NMEA, файле формата HTML для приложения Google Map или файле формата KML для приложения Google Earth
- Создавать траекторию с использованием приложения Google Earth и преобразовывать файл формата KML в файл формата GGA

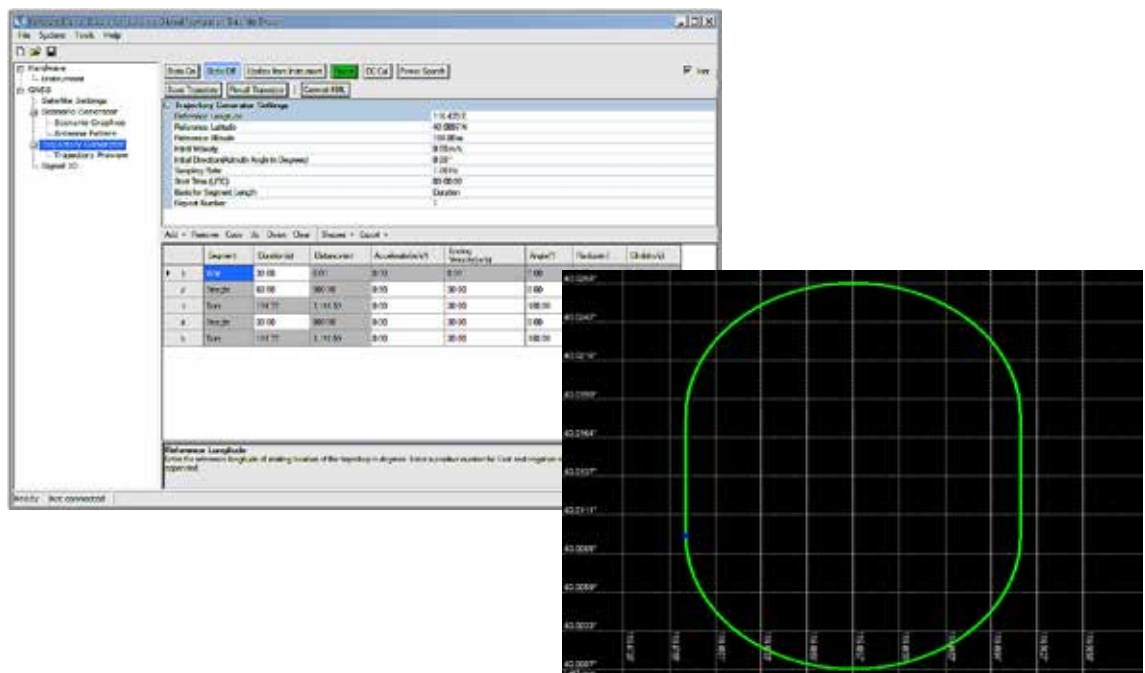


Рис. 24. Предварительный просмотр траектории, созданной утилитой «Trajectory Generator».

Применение модели антенны

Приемники ГНСС часто тестируют, подсоединяя кабель от источника тестового сигнала непосредственно к входу приемника, поскольку это проще, чем передавать тестовый сигнал на антенну приемника через эфир. Но при этом невозможно оценить влияние антенны на результаты теста. Для решения этой проблемы ПО N7609B предлагает графический интерфейс, позволяющий пользователю смоделировать антенну, изменить по своему усмотрению ее диаграмму направленности и применить эту модель к выполняемому тесту. Эту функцию можно использовать для моделирования препятствий или поглощения сигнала около приемника. Вы можете:

- Задавать разрешение по азимуту и углу места
- Задавать изменение уровня мощности для выбранных азимутов и углов места
- Применять вращение по азимуту
- Применять диаграмму направленности: для «статических» сценариев – с фиксированными (абсолютными) азимутом и углом места; для «динамических» сценариев – с относительными азимутом и углом места, зависящими от ориентации приемника ГНСС

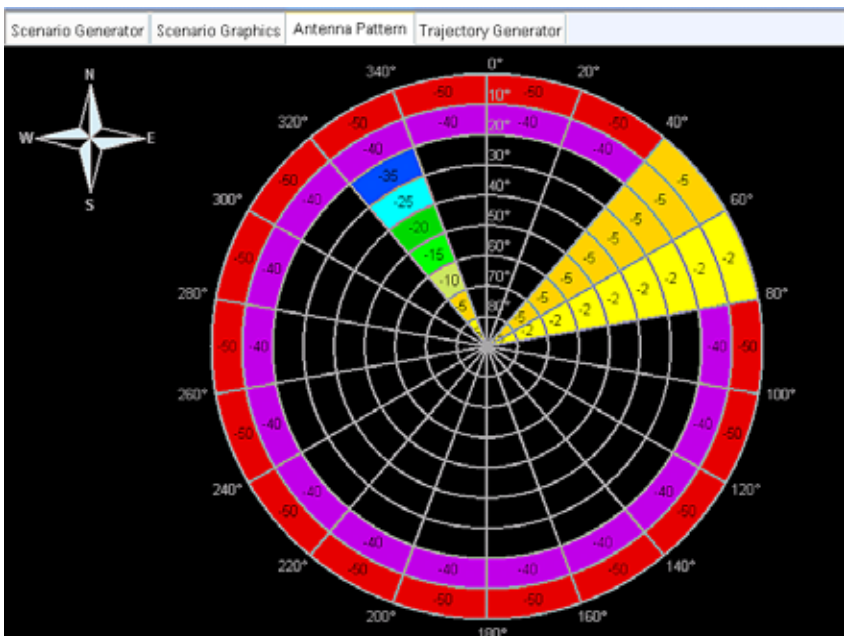


Рис. 25. Модель антенны с маской усиления, применяемой к спутниковым сигналам.

Выводы

Быстрое развитие служб и приложений по местопределению, повсеместное использование навигационных приемников в бытовых устройствах и бурное развитие систем ГНСС (помимо GPS и ГЛОНАСС, вводятся в действие новые системы – Beidou/Compass и Galileo) расширяет требования к тестированию приемников ГНСС. Для полной проверки приемников ГНСС необходимо имитировать несколько группировок ГНСС и моделировать различные искажения спутниковых сигналов. Программное N7609B Signal Studio for GNSS позволяет имитировать сигнал ГНСС в реальном времени с характеристиками, необходимыми для тестирования современных приемников, работающих с несколькими системами ГНСС.

Веб-ресурсы

Решения Keysight GNSS для ГНСС
www.keysight.com/find/gnss

Решения Keysight A-GPS для A-GPS
www.keysight.com/find/agps

Программное обеспечение N7609B Signal Studio for GNSS
www.keysight.com/find/N7609B

Демонстрационное видео об использовании ПО N7609B с генераторами сигналов серии X
www.youtube.com/watch?v=-I_NEdlbOYI&feature=channel&list=UL

Литература

Технический обзор программного обеспечения N7609B Signal Studio for Global Navigation Satellite Systems (GNSS), номер документа 5990-9363EN

Тестирование приемников GPS. Рекомендации по применению, номер документа 5990-4934EN

Функциональное тестирование приемника A-GPS с использованием комплекта тестирования систем беспроводной связи 8960 и векторного анализатора сигналов E4438C ESG. Рекомендации по применению, номер документа 5989-9141EN

Ссылки

Учебные материалы и веб-ссылки для ГНСС:

Учебные материалы для ГНСС:

Информация о системе GPS: www.gps.gov/systems/gps

Навигация Европейского Космического Агентства: http://www.navipedia.net/index.php/Main_Page

Учебно-методический центр GPS PaloWireless:

www.palowireless.com/gps/tutorial.asp

gnss.be/gnss_tutorial.php

www.u-blox.com/en/tutorials-links-gps.html

www.trimble.com/gps_tutorial

Навигационный центр береговой охраны США: состояние GPS, альманахи, связь с данными эфемерид, общая информация о GPS: www.navcen.uscg.gov/gps/default.htm

Федеральное космическое агентство (Роскосмос) – информация о ГЛОНАСС, файлы альманаха: www.glonass-ianc.rsa.ru

Информация о Galileo от Европейского космического Агентства:

www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo

Информация о Beidou: en.beidou.gov.cn

Отраслевые журналы: InsideGnss: insidegnss.com, GPS World : gpsworld.com

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированное отображение интересующей вас информации

PXI

<http://www.pxisa.org>

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) – это формат модульного высокопроизводительного вычислительного и контрольно-измерительного оборудования, предназначенного для работы в жестких производственных условиях.

AXIe

www.axistandard.org

AXIe представляет собой открытый стандарт, основанный на AdvancedTCA, с расширениями для контрольно-измерительных приложений. Компания Keysight входит в число основателей консорциума AXIe.

LXI

www.lxistandard.org

LXI является приемником шины GPIB. Построенная на базе стандарта локальной сети (LAN), LXI обеспечивает более высокое быстродействие и более эффективные возможности подключения. Компания Keysight является членом учредителем консорциума LXI.



Три Года Стандартной Заводской Гарантии

www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty

Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижение общей стоимости владения. Единственный производитель контрольно-измерительного оборудования, который предлагает стандартную трехлетнюю гарантию на все свое оборудование.



Планы Технической Поддержки Keysight

www.keysight.com/find/AssurancePlans

До пяти лет поддержки без непредвиденных расходов гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.



www.keysight.com/go/quality

Keysight Electronic Measurement Group
DEKRA Certified ISO 9001:2008
Quality Management System

Торговые партнёры Keysight

www.keysight.com/find/channelpartners

По этому адресу пользователь может получить лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерительной техники и широкая номенклатура выпускаемой продукции компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнёрами.

CDMA2000® является зарегистрированным знаком сертификации Telecommunications Industry Association. Используется по лицензии.

WiMAX™ является зарегистрированным товарным знаком WiMAX Forum®.

Bluetooth® и логотип Bluetooth являются зарегистрированными в США товарными знаками

компании Bluetooth SIG, Inc, и лицензированы Keysight Technologies.

Российское отделение

Keysight Technologies

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954

8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902

e-mail: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru

Сервисный Центр

Keysight Technologies в России

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: tmo_russia@keysight.com

(BP-16-10-14)