

Мониторинг подвижных объектов с сантиметровой точностью.

Меньше мифов, больше реальности

Дмитрий Покатаев
support@naviaglonass.ru

Обычно, когда речь идет о позиционировании объектов с помощью спутниковой навигации, при оценке точности позиционирования исходят из тезиса «хороший прием — 5 м, плохой — 15 м и более». Если разговор заходит о преодолении данного ограничения, вспоминают о DGPS с его 1–2-метровой точностью. Как правило, сам навигационный приемник, антенну и другие компоненты не рассматривают, говорят «обычный приемник», подразумевая под «необычным приемником» многочастотный или геодезический, который недоступен по цене для рядовых потребителей. Оценка в принципе правильная: еще 5–7 лет назад навигационный приемник был просто дорогим монолитным устройством, черным ящиком с определенным функционалом.

Большинство рядовых пользователей или даже инженеров, зная о протоколе и стандарте NMEA, никогда не заглядывали дальше получаемых данных в сообщении GPRMC (Recommended Minimum Specific GPS/Transit data — широта, долгота, скорость, время, дата, магнитное склонение), но достаточно много говорят «о качестве трека и хорошей математике» конкретного навигационного приемника. Небесная механика для многих ограничивается понятиями «геостационарная орбита», «количество спутников в группировке» и т. д. Причины просты: литературы о том, как воспользоваться координатами, когда они уже получены, очень много, а литературы о том, как они получены, — или нет, или она представляет собой спецификации и описания

для подготовленного в области математики, астрономии, радиотехники и программирования читателя. Причем подготовленного одновременно во всех перечисленных областях. Из этого складывается некоторое невосприятие новых технологий в области спутникового позиционирования, в том числе и RTK (Real Time Kinematic — кинематика реального времени). Это существенная трудность, тормозящая развитие и приятие всего нового в области спутниковой навигации, особенно в столь сложившейся сфере, как позиционирование подвижных объектов в реальном времени. Это совсем новое для RTK, но уже востребованное направление, и сначала мы рассмотрим общую информацию о навигационных системах, их реальных ограничениях и способах преодоления, по возможности не усложняя данную статью излишней терминологией, а затем перейдем к описанию законченного решения для позиционирования в реальном времени с применением RTK.

Для начала рассмотрим таблицу.

Понятно, что в двух правых столбцах указанные параметры достигаются с применением корректирующих данных, но почему такая разница между DGPS и RTK? Ответ: способы коррекции принимаемых данных сигналов спутников и возможности самого приемника (фазовые измерения).

Очевидно, если есть нескомпенсированная погрешность псевдодальности (измеренного расстояния до спутника по общей задержке сигнала, если очень упрощенно) в 5 м, то повышение точности выше, чем одна длина волны, в принимаемом сигнале будет бесполезно (длина волны примерно 19 см для GPS). Но если эти 5 м уменьшить путем компенсации до десятков сантиметров, она будет значима, тем более что обычно еще применяются цифровые фильтры для серии измерений, уточняющие позицию для каждого измерения. Именно на таком принципе и построены все решения RTK. Кроме того, как видно из таблицы, огромную роль играет подавление отраженного сигнала, и «простая керамика» в качестве антенны не подойдет, обычно применяются специальные типы антенн, например, Choke Ring или более простые решения, но тоже эффективно подавляющие многолучевое распространение

Таблица. Погрешности измерения при определении местоположения приемника по GNSS-системам с применением Differential GPS и Real Time Kinematic (RTK)

Причина ошибки	Ошибка без коррекции	Ошибка с DGPS	Ошибка с RTK (применение навигационного приемника с фазовыми измерениями)
Данные эфимериса	2,1 м	0,1 м	2,5–5,0 см
Часы спутника	2,1 м	0,1 м	2–5 см
Эффекты ионосферы	4,0 м	0,2 м	10–20 см
Эффекты тропосферы	0,7 м	0,2 м	10–20 см
Отражение сигнала	1,4 м	1,4 м	Определяется типом антенны
Влияние приемника	0,5 м	0,5 м	Определяется типом приемника
Общее значение RMS	5,3 м	1,5 м	менее 10 см
Общее значение RMS (фильтрованное)	5,0 м	1,3 м	1–2 см

сигналов спутников. Для повышения точности могут применяться и сверхбыстрые эфемериды, имеющие погрешность менее 5 см в реальном времени и менее 2,5 см при постобработке. Эти данные представлены в форматах sp3 (для эфемерид) и clk (для расхождения шкал часов). Могут применяться геофизические корректирующие модели для первичной компенсации эффектов ионосферы и тропосферы (обычно в виде файлов ионосферных полей в формате ionex и файлов тропосферных данных в формате sinex_tropo, который является версией формата SINEX) или усовершенствованная компенсация эффекта Доплера при движении приемника на основе усовершенствованных математических моделей, например OTF (On-The-Fly). В ряде случаев может использоваться и разница в ионосферной задержке для сигналов разной частоты от одного спутника, например GPS L1 и L2. Методов достаточно много, и обычно они применяются комплексно.

Реализация RTK может быть с абсолютными (на основе атмосферных и геофизических моделей) и относительными поправками (на основе измерений реальных задержек сигнала, в основном с применением эталонного приемника — базовой станции). Получение данных может быть в реальном времени или в режиме постобработки (с записью измерений приемника и последующей обработкой с применением различных способов аппроксимации, дающий при прочих равных условиях точность выше, чем в реальном времени, просто за счет усреднения). Мы в основном будем рассматривать режим реального времени с относительной коррекцией погрешностей с применением поправок от эталонного приемника — базовой станции. Режим реального времени в режиме кинематики — это самый сложный режим для RTK, но востребованный при мониторинге подвижных объектов.

Передача данных подвижного объекта

Идея мониторинга на основе связи GPS и GSM существует уже почти два десятилетия, если считать с момента появления первых доступных устройств. Существенным ограничением применения GSM в классическом виде является пиковый ток модуля GSM не менее 1 А.

Для систем, где применяется обычный радиоканал при мощности в 5–35 Вт, необходимых для уверенной связи, например на аэродроме или в геодезии, токи потребления от источника питания еще выше.

Поэтому в последнее время популярность набирают системы мониторинга, применяющие альтернативный малопотребляющий радиоканал, но обладающий сравнимой дальностью в десятки километров. Сейчас это обычно LoRa, в будущем, возможно, NB IoT. Кстати, LoRa появилась только недавно из-за удешевления технологии Spread Spectrum — цифрового расширения спектра на основе псевдослучайных последовательностей, позволяющей выделять сигнал с уровнем ниже уровня шумов. LoRa поддерживает режим «точка-точка», а остальные системы, например SigFox (использует, наоборот, сужение спектра сигнала) и NB IoT, могут работать, только если развернута сеть

оператора. Кроме того, практическая дальность LoRa примерно равна максимальному эффективному расстоянию от мобильного приемника до базовой станции (около 15 км для измерений только в диапазоне L1 и не более 30 км в общем случае применения много-частотного приемника, причем под L1 часто понимают определенный частотный диапазон сигналов — правильнее было бы сказать GPS L1, GLONASS G1, Galileo E1, BeiDou B1).

При работе в режиме реального времени объем данных в формате RTCM3 составляет 3–4 Мбайт/ч (1 кбайт/с). Для сравнения: стандартный объем данных в формате NMEA0183 примерно 1–2 Мбайт/ч (0,5 кбайт/с). В принципе это на пределе пропускной способности канала LoRa, но, поскольку при использовании модуляции на основе псевдослучайных последовательностей для модуляции сигнала десятки и даже сотни каналов занимают одну полосу частот, проблем с обменом данными для нескольких объектов не наблюдается. К тому же объем данных можно уменьшить в несколько раз, понизив темп выдачи навигационного решения. Для качественного определения позиции необходимо, чтобы поток содержал следующий минимальный набор сообщений (в данном случае это измерения для GPS/Глонасс в режиме MSM7 повышенной точности):

RTCM1077 — Extended GPS Code, Phase, CNR and Doppler Measurements;

RTCM1087 — Extended GLONASS Code, Phase, CNR and Doppler Measurements;

RTCM1019 — GPS Ephemerides;

RTCM1020 — GLONASS Ephemerides;

RTCM1006 — Station Coordinates Stationary RTK Base Station ARP (Antenna Reference Point) with Antenna Height.

Причем последние три сообщения обязательны только для базовой станции. Это сообщения, содержащие данные эфемерид и координаты самой базовой станции. Таким образом, от мобильного приемника можно получать всего два сообщения или даже только одно из них, если ограничиться одной навигационной системой.

При работе с сетью базовых станций по протоколу NTRIP часто требуется передача координат приемника, полученных без коррекции в формате NMEA, — сообщение GGA. Это нужно, чтобы сеть определила ближайшую к приемнику базовую станцию и передавала данные от нее. Но передачу такого сообщения может взять на себя серверное ПО.

Формат передачи данных RTCM 3

В формате RTCM 3 обычно передаются фактически не сами корректирующие данные, как в DGPS, а данные измерений сигналов каждого спутника в каждом поддерживаемом им диапазоне, например GPS L1 и L2. Формат сообщений RTCM 3 обеспечивает хорошее сжатие информации за счет ее оптимальной компоновки, также поток может быть сжат дополнительно с помощью любого алгоритма сжатия. В одном сообщении могут содержаться данные по нескольким сигналам одного или всех видимых спутников (MSM-сообщения или Multi Signal Message), также могут передаваться эфемериды отдельно для каждой навигационной системы и служебные сообщения, скажем, координаты базовой станции. В принципе потоки подвижного приемника и базовой станции по структуре одинаковы — это просто измерения приемников. При работе в режиме коррекции с применением базовой станции в одной точке должны собраться два потока RTCM 3 — от мобильного приемника и базовой станции. Причем неважно, где эта точка: на базовой станции, на мобильном приемнике или вдали от них. Два потока просто обеспечивают совместное решение навигационной задачи в специализированном программном обеспечении, обычно с получением потока NMEA на выходе, причем если поток NMEA получается на мобильном приемнике — это самый невыгодный вариант, поскольку при мониторинге подвижных объектов его нужно передавать обратно на пункт наблюдения в дополнение к получению потока от базовой станции. Если получение высокоточной позиции на самом мобильном приемнике не нужно, выгоднее передавать от него на пункт наблюдения потока RTCM 3 (рис. 1). При этом обычно на самом мобильном приемнике можно получать и его собственное нескорректированное решение в потоке NMEA. В ряде случаев поток данных RTCM 3 или в собственном формате приемника можно просто записывать и после преобразования в формат RINEX применять постобработку на сервисе постобработки (например, trimblertx.com) или в специальных программах (в частности, RTKLib).

Ограничения по качеству приема сигнала спутников для мониторинга подвижных объектов

Если проблему с питанием устройства мониторинга способен устранить мощный

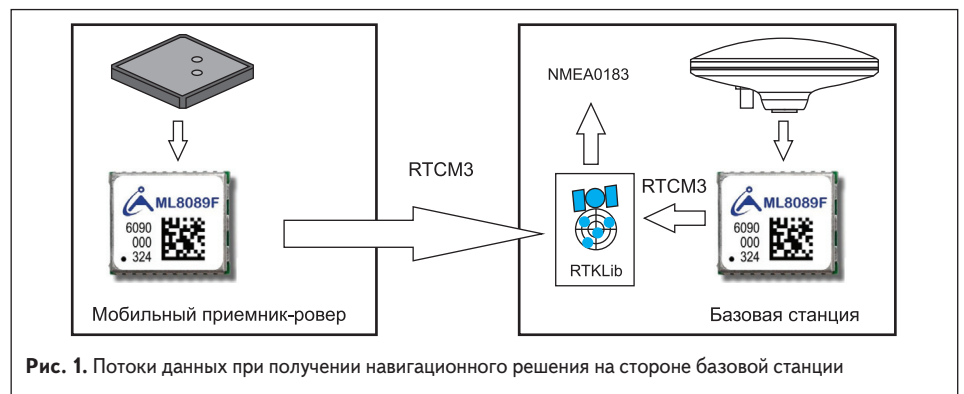


Рис. 1. Потоки данных при получении навигационного решения на стороне базовой станции

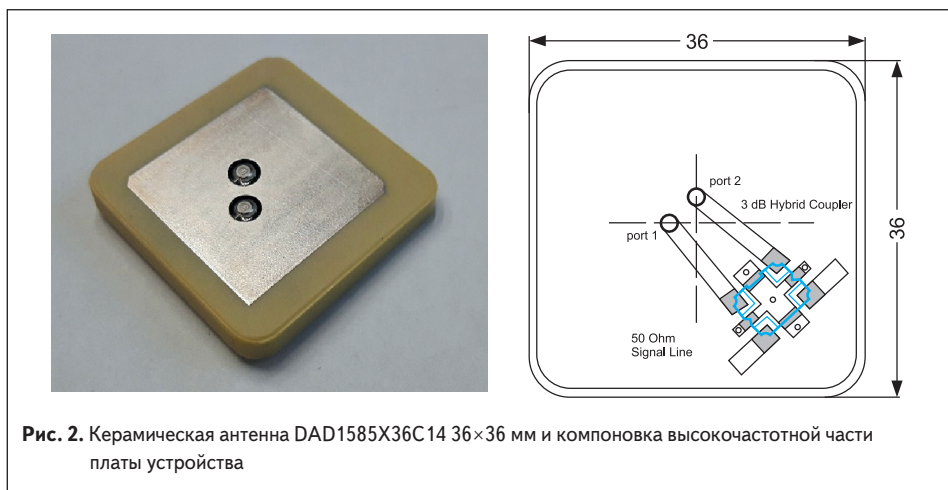


Рис. 2. Керамическая антенна DAD1585X36C14 36×36 мм и компоновка высокочастотной части платы устройства



Рис. 3. Модуль NAVIA ML8089F-CP 13×15 мм и отладочная плата NAVIA ML8089F-CP-DEMO

компактный аккумулятор или малопотребляющий радиоканал, то задачу размещения антенны и ее габаритов решить сложнее. При самой передовой конструкции малогабаритная антенна не в состоянии обеспечить хорошее подавление отраженного сигнала, а устройство мониторинга имеет ограниченные габариты, поэтому реализация антенны в таком устройстве — это путь компромиссов, причем если это носимое устройство персонального мониторинга, возникает еще и проблема ориентированности антенны: не всегда в зенит и, соответственно, большая вероятность приема сигнала, отраженного от земли, но даже на автомобиле

размещение антенны геодезического класса с подложкой более 120 мм в диаметре может вызвать трудности.

Частично проблему габаритов могут решить керамические антенны с двух- и четырехточечным съемом сигнала, что на практике дает очень хороший результат, даже при наклоне более 45°. Для новых разработок можно порекомендовать как доступный вариант антенну GLEAD DAD1585X36C14 (двухпиновая «керамика»), показанную на рис. 2. Это компактная высококачественная антенна для применения в составе вновь разрабатываемых устройств. Вообще о первоочередной важности выбора антенны

говорит следующий факт: замена обычной антенны на геодезическую в устройстве повышает точность позиционирования примерно в 2 раза (так же, как и с использованием DGPS!), а «выбросы» позиции, связанные с приемом отраженного сигнала, исчезают практически полностью.

Состав оборудования подвижной системы мониторинга не изменяется при переходе к использованию RTK. Меняются качественные характеристики отдельных компонентов.

Состав оборудования подвижного приемника

1. Антенна.
2. Навигационный приемник.
3. Модуль связи.
4. Процессор обработки данных (опционально).
5. Источник питания (аккумулятор).

С учетом современных ценовых тенденций самое дорогое в таком комплекте — антенна (цена может доходить до \$30–50). При этом однодиапазонный навигационный приемник и модуль связи стоит не более \$12–15 каждый (например, в данной ценовой категории находится навигационный модуль NAVIA ML8089F-CP — www.naviaglonass.ru/product/ml8089f/) (рис. 3). Аккумулятор обойдется приблизительно в \$30. Все остальное, вместе с корпусом, примерно \$25. Итого чуть более \$100 — стандартная цена устройства спутникового мониторинга. Большая нагрузка ложится на серверную часть такой системы, ведь именно там решается навигационная задача.

Все это выглядит немного непривычно с точки зрения простоты и функциональности. Но любая новая технология, особенно когда она приходит к рядовому потребителю, выглядит почти фантастикой. Будем надеяться, что и данная технология в самом скором времени станет привычной и совершенно необходимой в повседневной жизни. ■

Литература

1. naviaglonass.ru
2. www.rtklib.com
3. www.glead.com.cn
4. trimblertx.com
5. geospider.ru
6. www.geobox.ru