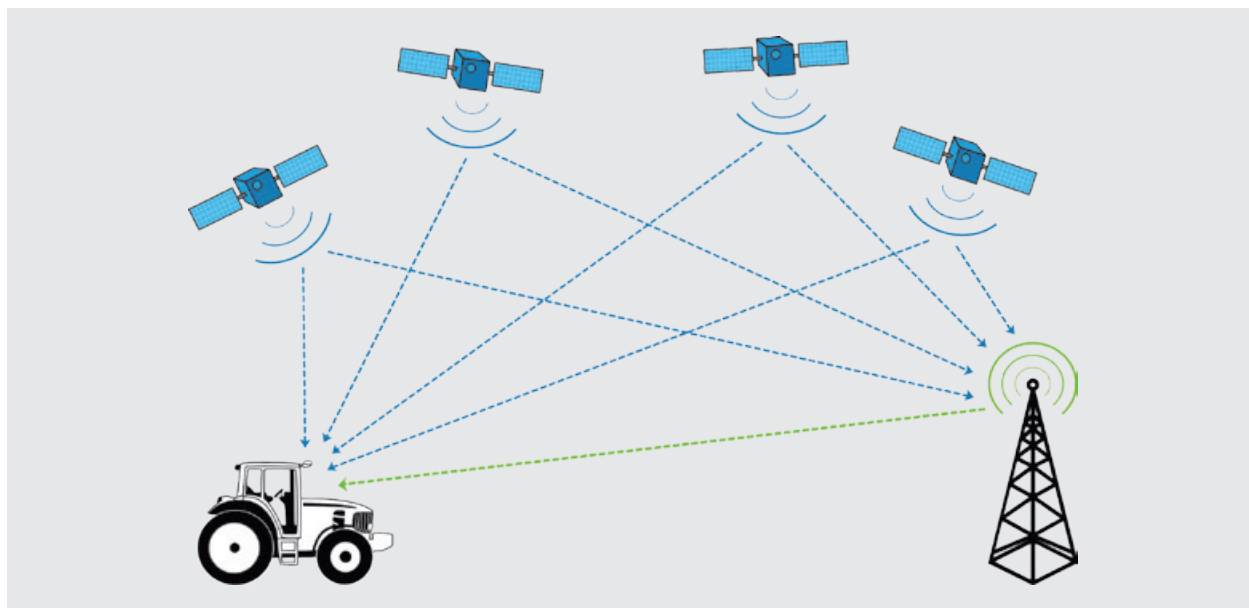




# МОНИТОРИНГ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ С САНТИМЕТРОВОЙ ТОЧНОСТЬЮ. МЕНЬШЕ МИФОВ, БОЛЬШЕ РЕАЛЬНОСТИ

Дмитрий Покатаев, [dmitriy.pokataev@positron.ru](mailto:dmitriy.pokataev@positron.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 законченно-

го 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 некомпенсированная 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 в таблице, 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 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 расхож-

#### Таблица.

#### Погрешности изменения 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 эфемериса	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

дения 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, что дает 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 составляет 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 обладающей 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 многочастотного 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 прием-

нику базовую станцию и передавала данные от нее. Но передачу такого сообщения может взять на себя серверное ПО.

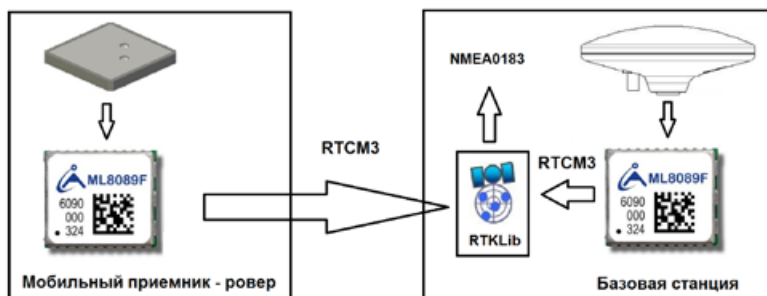
## ФОРМАТ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ RTCM 3

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 са-

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



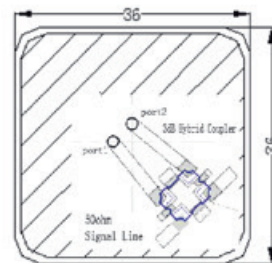
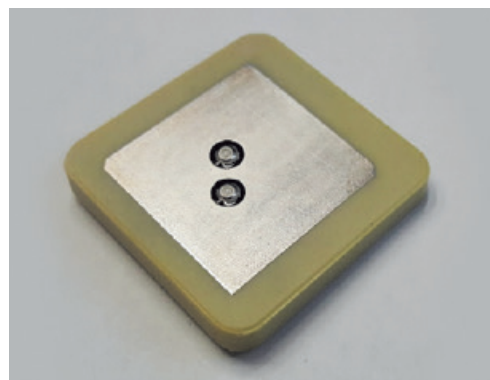
**Рис. 1.** Потоки данных при получении навигационного решения на стороне базовой станции



мом 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 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 антен-



ны: не всегда в зенит и, соответственно, большая вероятность приема сигнала, отраженного от земли, но даже на автомобиле размещение ан-



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



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

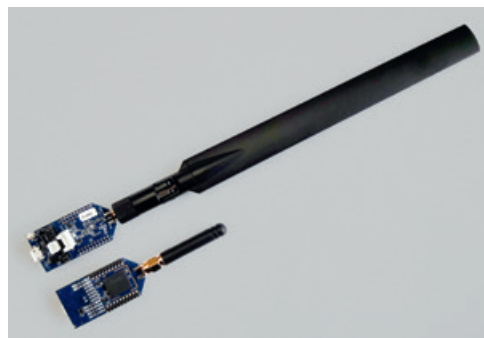
Частично проблему габаритов могут решить керамические антенны с двух- и четырехточечным съемом сигнала, что на практике дает очень хороший результат, даже при наклоне более 45°. Для новых разработок можно порекомендовать как доступный вариант антенну GLEAD DAD1585X36C14 (двухпиновая «керамика»), показанную 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 достигать до \$30–50). При этом однопдиапазонный навигационный приемник и модуль связи стоят не более \$12–15 каждый (например, в данной ценовой категории находится навигационный модуль NAVIA ML8089F-CP — [www.naviaglonass.ru/product/ml8089f/](http://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



**Рис. 4.**  
Модули LoRa ScSIP S7678S  
в составе плат EK-S76SXB  
с разными типами антенн

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](http://naviaglonass.ru)
2. [www.rtklib.com](http://www.rtklib.com)
3. [www.glead.com.cn](http://www.glead.com.cn)
4. [trimblertx.com](http://trimblertx.com)
5. [geospider.ru](http://geospider.ru)
6. [www.geobox.ru](http://www.geobox.ru)