

# ОБЗОР СПОСОБОВ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ

Дмитрий Покатаев, support@naviaglonass.ru



В последнее время значительно увеличился интерес к системам контроля персонала, причем если раньше самым востребованным устройством была электронная проходная, то сейчас есть интерес и к определению местонахождения работника на самом предприятии. Конечно, различные считыватели на дверях позволяют на основе персональных карт сотрудников отсле-

дить местоположение с точностью до помещения, но на открытых территориях они уже бесполезны. Здесь на первый план выходят системы на базе носимых устройств с возможностью определения точных координат и дальнейшей передачи их в диспетчерский центр для обработки или на другие носимые устройства. Это класс систем RTLS (Real-time Locating Systems) — си-

системы позиционирования в режиме реального времени. Задачей данных систем является контроль не только рабочего времени, но и фактического местопребывания в конкретный момент с целью определения нахождения в опасных зонах и предупреждения об опасностях, а также оценки состояния здоровья.

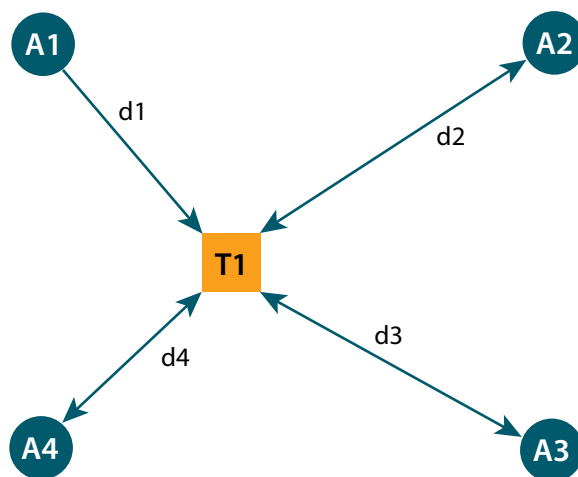
В статье представлены только системы, использующие для определения позиции и передачи данных радиоканал. Другие типы систем, например ультразвуковые, рассматриваться не будут. При этом будут описаны в основном типичные решения и методы позиционирования, а не конкретные системы конкретных производителей и их особенности.

Когда задается вопрос: «Как я могу узнать, где находится сотрудник в настоящий момент?» — конечно, все сразу вспоминают о GPS, хотя правильнее говорить, наверное, GNSS (Global Navigation Satellite System) — глобальная спутниковая навигационная система. Ведь, кроме GPS, есть еще ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo, с которыми многие современные приемники могут работать одновременно. Основное преимущество данного типа систем — отсутствие необходимости размещать наземную инфраструктуру у потребителя. Но при этом существенными ограничениями становятся возможность работы в основном на открытом пространстве, позиционирование антенны для хорошей видимости неба, достаточно большой расход электроэнергии на выделение сигнала спутников принимаемого сигнала (работа корелляторов) и решение навигационной задачи (работа вычислительного ядра). Эти две задачи составляют до 80% энергопотребления приемника. Хотя самые экономичные приемники потребляют ток всего 15–20 мА при напряжении 3,3 В в режиме слежения и немного более при поиске и захвате сигналов, традиционные системы передачи данных от таких приемников в диспетчерский центр потребляют в десятки и даже сотни раз больший ток. Например, GSM-модем при передаче в режиме GPRS потребляет ток 300–400 мА, а при поиске сети — до 1,5 А. Поэтому и спутниковым приемникам, и радиоканалу на основе GSM появилось много альтернатив, о которых пойдет речь далее.

Сначала о том, какие варианты систем возможны. Приведу несколько классификаций систем с краткими комментариями.

#### По методу определения координат

1. На основе данных спутниковых систем навигации.
2. На основе данных о видимых базовых станциях GSM.



**Рис. 1.**  
Фиксированная инфраструктура RTLS

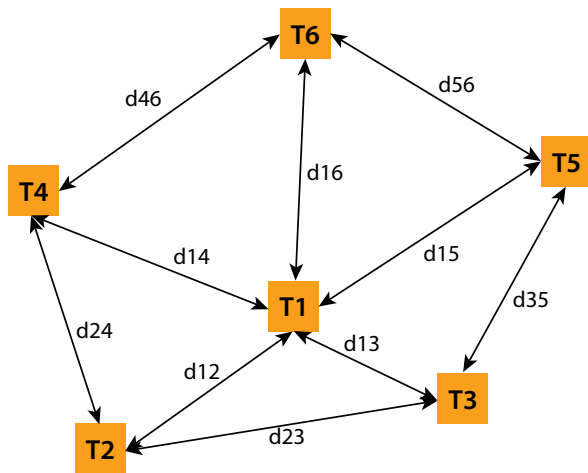
3. На основе данных о видимых базовых станциях Wi-Fi.
4. На основе пассивных стационарных маяков с известным положением и активными носимыми устройствами.
5. На основе сканирующих станций и пассивных носимых устройств.
6. Комбинированные.

Сразу следует сказать, что все шесть пунктов реализует или может реализовать современный смартфон, поэтому смартфон или планшет обычно служат основой многих систем позиционирования. Причем смартфон может не только самостоятельно принимать и анализировать сигналы, но и выступать как объект наблюдения, если включен соответствующий режим Bluetooth Low Energy или режим AP-Mode модуля Wi-Fi.

#### По типу получаемых координат

1. Абсолютные координаты.
2. Относительные координаты.
3. Относительные взаимные координаты в группе без прямой привязки к местности.

Не всегда нужны точные географические координаты в общемировой системе координат, часто достаточно просто привязки положения к конкретному участку местности. При этом такие локальные системы значительно проще и экономичнее, но поскольку обычно это не GNSS-системы, они предполагают определенную наземную инфраструктуру и, возможно, большие расходы на обслуживание, чем системы на базе GNSS. Если посмотреть чисто физическую реализацию, сначала всегда определяется именно относительное положение передатчика и приемника, что характерно для всех типов систем. Как правило, определяется расстояние



**Рис. 2.**  
Принцип  
опозиционирования  
в группе без  
привязки  
к абсолютным  
координатам

или угол приема сигнала. Затем полученные данные служат основой определения глобальных координат, если это необходимо.

#### По точности получаемых координат

1. Метровая точность.
2. Дециметровая точность.
3. Сантиметровая точность.

Если в 60-х годах прошлого века километровая точность глобальной навигационной системы считалась неплохим результатом, то теперь она даже не вошла в нашу классификацию. Это произошло из-за улучшения математических методов и, самое главное, большей доступности вычислительных ресурсов в системах навигации и очень значительного роста производительности мобильных вычислительных систем. Сантиметровая и дециметровая точность зачастую просто результат хорошей цифровой фильтрации сигнала или применения удачной математической модели ее распространения. Причем это характерно для всех систем — как локальных, где сигнал распространяется на расстоянии в десятки и сотни метров, так и глобальных, где сигнал передается на тысячи километров, как, например, в спутниковых системах.

#### По месту получаемых координат

1. В диспетчерском центре.
2. В самом носимом устройстве.
3. В других носимых устройствах (при определении взаимных координат).

Не всегда необходимо и возможно получение координат в мобильном устройстве — обычно координаты получает диспетчер в специализированном диспетчерском центре, и маршруты движения записываются сервером для дальнейшего анализа, если это понадобится. Во всех случаях выгоднее вычислять и обрабатывать координаты мобильных устройств на сервере,

ведь у стационарного сервера энергоэффективность значительно выше, чем у мобильного устройства с питанием от аккумулятора. Но если устройство не вычисляет координаты и не отправляет их, нагрузка по передаче данных о его положении для последующего вычисления координат обычно ложится на дополнительную инфраструктуру в виде базовых станций и их каналы связи с сервером.

#### По наличию обратной связи с носимыми устройствами

1. Без обратной связи с носимыми устройствами.
2. С обратной связью с носимыми устройствами.

Иногда требуется передавать данные на носимое устройство для оповещения персонала о различных экстренных ситуациях. Обратный канал связи может быть организован по протоколу самой сети позиционирования или как дополнительная опция с собственным радиоканалом, но этот вариант всегда менее эффективен по расходу электроэнергии, а потому такой метод применяется редко.

#### По времени работы без подзарядки

1. В течение суток или одной смены.
2. Длительный период (более суток и до года).
3. Многолетний период (срок работы более одного года).

Именно необходимость в увеличении длительности работы носимых устройств и уменьшении их массы определяет тенденцию к переходу от традиционных GNSS-систем к различным малопотребляющим меткам, пусть даже при этом требуется дорогая наземная инфраструктура.

#### По типу энергопотребления радиоканала

1. Стандартный.
2. Малопотребляющий (ток потребления при передаче до 100 мА).
3. Сверхмалопотребляющий (ток потребления при передаче до 10 мА).

Энергопотребление устройства напрямую определяет размер аккумулятора в нем и соответственно массу и габариты, поэтому тенденция сделать радиоканал как можно более энергоэффективным за счет оптимизации протоколов обмена становится все более очевидной. При такой оптимизации мощности передатчиков падают незначительно, просто они работают все более короткое время и передают данные с более высокой скоростью. Причем за счет более совершенных типов модуляции достигается уверенный прием на больших расстояниях.

### По типу контролируемых событий

1. Без контроля дополнительных событий.
2. С контролем доступа в определенные зоны.
3. С контролем двигательной активности.
4. С контролем медицинских параметров (пульс, частота дыхания).
5. С контролем физических параметров среды (например, наличие определенных веществ в воздухе, погружение в жидкость).

Типичным примером устройств такого типа является всем знакомый фитнес-браслет. Для таких устройств, обычно работающих в формате Bluetooth Low Energy, характерно измерение пульса и параметров двигательной активности. При этом они имеют радиоканал Bluetooth Low Energy, действующий на расстоянии до 50, а в ряде случаев и до 100 м на открытой местности и допускающий двухсторонний обмен данными. Конечно, если необходимо, создаются и более сложные устройства подобного типа, измеряющие больше параметров. Но и самая простая метка способна контролировать проход в определенные зоны, а события может формировать программное обеспечение сервера.

### По типу обслуживаемых объектов

1. Условно одномерные (стволы и штреки шахт).
2. Двумерные (территории предприятий, расположенных на равнинной местности).
3. Трехмерные (здания и карьеры).

Отдельно следует сказать, что первый тип и частично третий тип исключают применение спутниковых систем и альтернативные системы для них просто незаменимы.

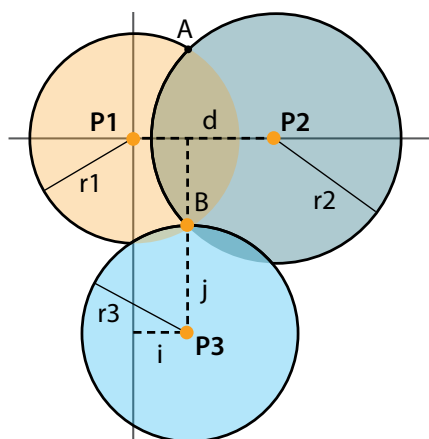
### По типу корпуса носимого устройства

1. Метка.
2. Браслет.
3. В формате носимой радиостанции.

Формат носимой радиостанции обычно применяется для устройств с обратной связью, хотя элементы обратной связи возможны и в устройствах первого и второго типа. Кроме того, чисто формат носимой радиостанции определяется тяжелыми климатическими условиями работы, длительным сроком службы без подзарядки и, соответственно, большим аккумулятором, применением специальных антенн при наличии приемника, интеграцией дополнительных функций мониторинга и обратной связи.

### По месту получения координат носимого устройства

1. В носимом устройстве с передачей данных о координатах на сервер по дополнительному радиоканалу.



**Рис. 3.**  
Принцип времени распространения сигнала ToF

2. В самой системе с получением координат в базовых станциях и передачей на сервер.
3. Координаты вычисляет сервер после получения данных от базовых станций.
4. Координаты вычисляет сервер после получения данных от устройств.

Как уже говорилось выше, выгоднее перенести сложные вычисления из мобильного устройства в стационарный компьютер, но это не всегда возможно, а потому системы обычно строятся по различным компромиссным вариантам, наиболее подходящим для конкретной системы.

### По типу электропитания базовых станций

1. Внешнее питание.
2. Автономные (питание от аккумулятора, солнечных батарей).

Автономное питание базовых станций характерно для больших территорий, в зданиях эффективнее системы с внешним питанием базовых станций от электросети. Исключение могут составлять строящиеся здания и объекты, где еще нет постоянного электропитания.

### ПО ТИПУ РАДИОКАНАЛА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА СЕРВЕР

1. GSM/LTE.
2. Bluetooth Low Energy.
3. LoRa.
4. SigFox.
5. ZigBee (IEEE802.15.4-2011).
6. NB IoT.
7. Нестандартизированный радиоканал.

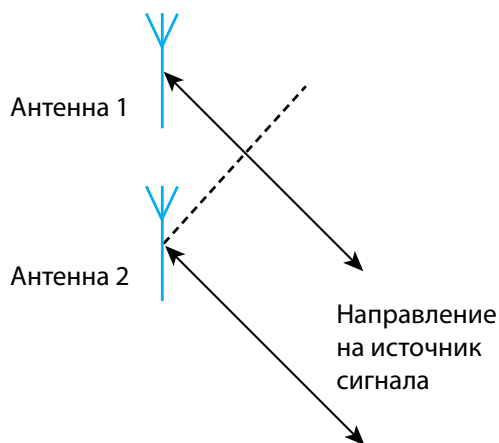
Вариантов очень много, и все время появляются новые и еще более энергоэффективные.

### По частотному диапазону (относится и к определению координат, и к способу их дальнейшей передачи)

1. Субгигагерцевые.
2. СВЧ.



**Рис. 4.**  
Метод измерения  
фазы принимаемого  
сигнала PDoA



Такое деление чисто условное и определяется только стандартизацией в использовании радиочастот.

#### По типу модуляции

1. Аналоговая.
2. Цифровая.
3. Импульсная.
4. Расширение спектра.

Чем эффективнее модуляция, тем энергоэффективнее система в целом.

#### По ширине полосы излучения спектра сигнала

1. Стандартная.
2. Узкополосная.
3. Широкополосная.

Системы второго и третьего типа обычно используют цифровую модуляцию сигнала и цифровое выделение полезного сигнала из принимаемого, часто они могут выделять сигнал, уровень которого в точке приема ниже уровня шума, что при равных мощностях передатчика позволит увеличить дальность передачи данных в десятки раз.

### МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ

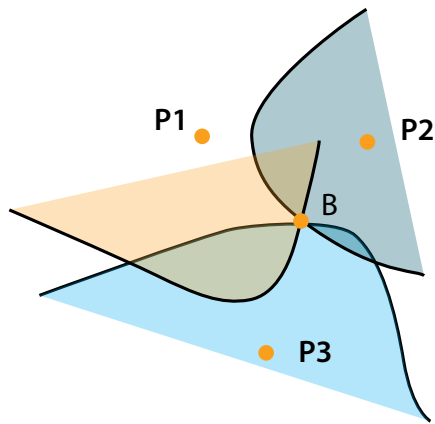
1. **RSSI (Received Signal Strength Indicator)** — дословно: индикатор силы принимаемого сигнала. Определение дистанции на основе калиброванного по мощности передатчика и оценки уровня принимаемого приемником сигнала. Применяется при позиционировании устройств Bluetooth Low Energy по протоколам iBeacon и Eddystone. И хотя метод уступает по точности другим методам, несомненная простота делает его весьма популярным.

2. **TDoA (time difference of arrival)** — группа методов, основанных на измерении разницы во времени передачи сигнала от мобильного устройства до базовой станции, с синхронизированными часами и заранее известным местоположением. Иногда говорят также, что этот метод применяет OWR (One-Way Ranging) — одностороннее измерение времени распространения сигнала. Положение приемника определяется пересечением гипербол, так как для определения положения приемника применяется разностно-дальномерный метод с использованием минимум трех опорных точек с известным положением для обмена сигналами с мобильным устройством. Метод известен во множестве вариантов и реализаций по методу синхронизации часов, порядку передачи пакетов и т. д.

3. **ToA (Time of Arrival)** — обычно подразумевает измерение времени распространения сигнала до объекта и обратно. Если объектом осуществляется ретрансляция сигнала с задержкой, метод называют TWR (Two-Way Ranging). Также иногда метод именуют RTT (Round Trip Time), RToA (Return Time of Arrival) — все зависит от сферы применения. Метод очень простой и эффективный, так как не требует синхронизации времени приемника и передатчика. Его недостаток заключается в сильной зависимости от стабильности генераторов устройств, что определяет погрешности измерения времени ретрансляции на ведущем устройстве за счет некоторой нестабильности времени ответа ведомого. Это приводит к тому, что погрешность в реальных системах обычно больше метра. Во многих источниках методы TDoA и ToA рассматривают как конкурирующие. Хотя каждый из них просто эффективнее в определенной ситуации. Метод TDoA больше подходит при работе по каналу без прямой видимости Non-Line-of-Sight (NLOS). При этом метод ToA превосходит метод TDoA, когда доминируют каналы прямой видимости Line-of-Sight (LOS).
4. **ToF (Time-of-Flight)** — измерение времени распространения сигнала, общая формулировка для целого ряда методов, термин часто встречается в литературе, хотя обычно не указывает на определенную технологию. Можно сказать, что он обычно относится к методам, когда время прохождения сигнала измеряется в одном направлении, но бывают и исключения.



**Рис. 5.**  
Принцип  
реализации  
метода TDoA



5. **SDS-TWR (symmetrical double-sided two-way ranging)** — метод измерения дистанции, являющийся усовершенствованным TWR, который использует двойное измерение по методу TWR последовательно в двух направлениях, от первого устройства ко второму и наоборот. В каждом цикле устройства обмениваются временем ретрансляции, измеренным самими устройствами. После двух измерений время прохождения сигнала можно вычислить с погрешностью, достаточной для получения дециметровой и даже сантиметровой точности.
6. **FDoA (Frequency Difference of Arrival)** основан на измерении разностей доплеровских сдвигов частот от источников сигнала при движении приемника.
7. **AoA (Angle of arrival)** — дословно: угол прибытия. Метод определения направления распространения радиочастотной волны, падающей на антенную решетку или вычисляемой по максимальной силе сигнала при вращении антенны. AoA определяет направление, измеряя разницу во времени прибытия на отдельных элементах массива антенн. Именно эти задержки позволяют рассчитать угол прибытия сигнала.
8. **AoD (Angle-of-Departure)** — угол отправления сигнала от объекта, обычно неподвижного. Базовые устройства такого типа излучают различные сигналы в разных направлениях, что используется приемником для определения угла направления на базовую станцию.
9. **PDoA (Phase Difference of Arrival)** — измеряется разница в фазе принимаемого сигнала от одного источника на двух и более антеннах с известным положением. Сигнал на антенну, расположенную дальше от источника, придет с большей задержкой. Если антенны находятся близко друг к другу, разница будет в пределах одного колебания частоты, но и она может быть измерена современными

ми устройствами. Типичный пример такого устройства — спутниковый компас. Обычно это группа из трех антенн для приема GNSS-сигналов и, соответственно, трех каналов приема с возможностью измерения фазы сигнала. Компас такого типа определяет направление на спутник GNSS. Зная положение спутника на основе эфемерид с учетом того, что положение приемника известно из обычного решения навигационной задачи, можно определить направление на стороны света.

Большинство современных решений основано на комбинации методов, например, в продукции компании Decawave одновременно используется расчет расстояния по методу SDS-TWR (ToA) и TDoA, при этом совместное применение широкополосных сигналов, сверхширокополосных сигналов повышает эффективность TDoA по точности и SDS-TWR по дальности. Различные методы, основанные на измерении угла, применяются все реже из-за больших габаритов антенных устройств по сравнению с дальномерными методами, позволяющими создавать совсем компактные устройства, на работу которых не влияет положение в пространстве и направление ориентирования антенны.

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ

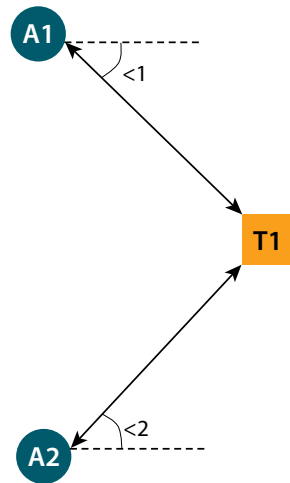
Основные требования при построении систем относятся к типу корпуса носимого устройства и его массе. Обычно самым главным является соотношение массы, времени работы и максимальной удаленности от базовой станции. Требования постоянно растут, и многим потребителям нужны субметровые по точности системы с возможностью обратной связи, контролем параметров объекта, контролем зон, покрытием в зонах с размерностью десятки километров и массой носимого устройства не более 100–120 г. При этом определение координат должно быть одинаково эффективно и бесперебойно, а дополнительная инфраструктура в виде базовых станций минимальна. Системы должны устойчиво работать в зонах без покрытия GSM и быть малочувствительны к электромагнитным помехам. И сейчас это во многом выполнимо!

## ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ

**Система с пассивными метками.** Самая простая система и самая экономичная. Понятие «пассивные» весьма условно. Обычно такие метки сами излучают радиосигналы, но не могут их принимать, или для приема их нужно переключить.



**Рис. 6.**  
Угломерный  
метод AoA



чить в определенный режим. При этом они могут работать от встроенной батареи годами без ее замены. Если метка находится в зоне видимости базовой станции, то их координаты условно совпадают. Круговая или почти круговая зона вокруг базовой станции и есть контрольная зона присутствия. Обычно стараются сделать так, чтобы метка была видна нескольким базовым станциям, тогда возможно определение дистанции по RSSI и местоположения метки по результатам измерения расстояния минимум до трех базовых станций с известным положением. Точность таких систем можно отнести к метровым. Несомненное преимущество — метки очень легкие, менее 20–30 г, срок работы без подзарядки у них составляет несколько лет. Самые популярные системы построены на базе стандарта Bluetooth Low Energy — это широко известные iBeacon и Eddystone, а также менее распространенный AltBeacon и ряд других. Для реализации используется так называемый Advertising Packet — последовательность байтов, передаваемая устройством Bluetooth Low Energy для его обнаружения. Обычно содержит адрес и имя устройства, но спецификация Bluetooth Low Energy позволяет его изменять, и на этом основаны собственные форматы данных производителей маячков или меток. Такие устройства предусматривают подключение и двунаправленный обмен в соответствии со спецификацией Bluetooth Low Energy, но только для конфигурации. Системы подобного типа используют данные RSSI при приеме и значение RSSI при приеме сигнала конкретного устройства (калиброванное значение) на расстоянии 1 м, передаваемое устройством. Это калиброванное значение и позволяет перевести RSSI в метры. Для сглаживания колебаний уровня RSSI, вызванных отражением, применяется цифровая фильтрация.

**Системы с активными метками.** Энергопотребление для данных систем уже значительно выше, чем у систем с пассивными метками. К этому типу могут относиться системы с двунаправленным радиоканалом метки, например на базе Bluetooth Low Energy, так как сам тип канала Bluetooth Low Energy предусматривает двунаправленный обмен при подключении. В такой метке уже может находиться даже небольшой дисплей для передачи сообщений пользователю. Данная система также относится к системам со сверхмалым потреблением, поскольку большую часть времени дисплей отключен и приемник не используется. Кстати, следует отметить, что для сверхмалопотребляющих систем обычно характерны большие расходы энергии именно на прием, ведь передатчик работает очень короткое время, а чтобы принять сигнал, окно времени приема должно быть в разы больше. Особенно это очевидно при анализе энергопотребления для приемопередатчиков Bluetooth Low Energy. Например, с помощью программы BlueNRG Current Consumption Estimation Tool 1.2 для чипов семейства BlueNRG производителя ST Microelectronics. К данному типу систем можно отнести и системы на базе специализированных приемопередатчиков. Вполне заслуженно следует упомянуть уже достаточно старую технологию NanoLOC компании Nanotron (<https://nanotron.com>) — первые чипы вышли более 10 лет назад. Nanotron использует метод позиционирования SDS-TWR (SymmetricalDoubleSidedTwoWayRanging — метод симметричного двухстороннего двунаправленного измерения расстояния), что позволяет обеспечить необходимую точность, не прибегая к синхронизации времени, — измеряется время от передачи запроса до получения ответа на него. Также используются широкополосные сигналы, что минимизирует помехи. Погрешность в определении расстояния — 2 м.

Компания Decawave ([www.decawave.com](http://www.decawave.com)) анонсировала свой чип DW1000 относительно недавно. Применяется метод позиционирования TDoA и SDS-TWR (см. выше). Соответствует стандарту IEEE802.15.4-2011 UWB channels (широкополосный сигнал). Погрешность в определении расстояния — 10 см за счет совместного применения технологий TDoA и SDS-TWR. У данного производителя хорошие отладочные средства и подробная документация. Комплект Decawave MDEK1001 (<https://www.decawave.com/product/mdek1001-deployment-kit/>) по сути, готовая система RTLS (Real-time Locating Systems).

## Таблица.

Точность метода RTK по сравнению с обычными методами позиционирования на основе спутниковых систем без поправок

ИСТОЧНИКИ 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
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 RMS-значение	5,3 м	1,5 м	менее 10 см
Общее RMS-значение (фильтрованное)	5,0 м	1,3 м	1–2 см

**Системы с носимыми устройствами типа браслет** могут представлять собой полноценное GSM-GPS-устройство с временем работы не более суток или решение с малопотребляющим радиоканалом, например на основе LoRa.

Сразу следует сказать, что решения на основе GSM и GPS в настоящий момент уже самые неэффективные по энергопотреблению и, соответственно, по массе и габаритам. Поэтому предлагается много альтернативных вариантов с меньшим в десятки и сотни раз энергопотреблением.

Они обладают наименьшими ограничениями в габаритах, у них может быть большой и емкий аккумулятор. Но обычно этот тип корпуса применяется в системах, где есть потребность в высокой надежности самого корпуса, например в системах для шахт. Такие решения обеспечивают двухстороннюю связь с персоналом и его позиционирование для диспетчерского центра. Эти системы обычно построены на базе опорной сети с кабелей, в которые через определенные промежутки вмонтированы приемопередатчики. Позиционирование в таких системах обычно осуществляется на основе данных RSSI.

В данном формате на открытой местности возможно применение спутниковых систем, в том числе и с применением Real Time Kinematic (RTK). Системы особенно удобны, скажем, для карьеров, где невозможно развернуть опорную сеть на базе других стандартов, например Bluetooth Low Energy. Конечно, применение RTK делает систему весьма дорогой

и сложной, но эффект часто оправдан получаемой точностью.

Следует также отметить, что не всегда в системах такого типа может быть предусмотрена голосовая связь, а внешний вид и функциональность прибора может напоминать смартфон. В действительности любая реально существующая система — это компромисс между ценой, массой носимых устройств, территорией охвата, точностью и частотой обновления координат. Вот почему в каждом конкретном случае может подойти одна и совсем не подходить другая система, и, значит, разные типы систем прекрасно уживаются рядом, даже на одних предприятиях, а предложение подобных систем достаточно велико и разнообразно.



### Литература

1. [www.decawave.com/](http://www.decawave.com/)
2. APS003 APPLICATION NOTE REAL TIME LOCATION SYSTEMS An Introduction Version 1.1. [www.decawave.com/sites/default/files/aps003\\_dw1000\\_rtls\\_introduction.pdf](http://www.decawave.com/sites/default/files/aps003_dw1000_rtls_introduction.pdf)
3. [www.naviaglonass.ru/product/vyisokotochnaya-navigatsiya/](http://www.naviaglonass.ru/product/vyisokotochnaya-navigatsiya/)
4. BlueNRG Current Consumption Estimation Tool 1.2. [www.st.com/resource/en/data\\_brief/stsw-bnrg001.pdf](http://www.st.com/resource/en/data_brief/stsw-bnrg001.pdf)
5. [www.nanotron.com/](http://www.nanotron.com/)
6. Bluetooth Low Energy модуль НАВИА ВТ-04А. [www.naviaglonass.ru/product/bluetooth-low-energy-modul-navia-bt-04a/](http://www.naviaglonass.ru/product/bluetooth-low-energy-modul-navia-bt-04a/)
7. [www.acsip.com.tw](http://www.acsip.com.tw)