Принципы работы и точность измерений в системе RTLS.
Размещение базовых станций.

Методы измерения в RTLS

RTLS – позиционная радионавигационная система, работа которой основана на различных методах измерения основных геометрических параметров, например расстояний между подвижной меткой и базовыми станциями, либо разницы расстояний - между меткой и двумя базовыми станциями. Оба этих метода основаны на определении времени распространения сигнала от метки до одной или нескольких базовых станций.

Первый метод – ToF (Time of Flight), или ToA (Time of Arrival), обеспечивает измерение непосредственно расстояний между меткой и каждой из базовых станций, с которыми можно осуществить радиообмен. Измерение выполняется путем выполнения в одном цикле двух процедур – точной синхронизации времени между меткой и базовой станцией, и последующего измерения времени распространения сигнала между ними. Этот метод применяется в системах CSS и UWB. Его достоинством является собственно формирование измерения непосредственно расстояния, что облегчает построение алгоритма определения координат. Его основным недостатком является невысокая пропускная способность системы в смысле максимального количества одновременно обслуживаемых меток. Это обусловлено необходимостью организации двухстороннего обмена информацией между меткой и каждой из базовых станций.

Второй метод – TDoA (Time Difference of Arrival), в отличие от ToA, не требует выполнения процедур синхронизации между меткой и базовыми станциями. Его работа основана на измерении разности времен, необходимых радиосигналу для распространения от метки до двух базовых станций, отличающихся местами их установки. Для обеспечения общей временной базы этих станций выполняется фоновая процедура их точной синхронизации. Достоинством такого метода является гораздо более высокая, по сравнению с ToA, пропускная способность системы. К его недостаткам можно отнести необходимость установки несколько большего количества базовых станций. Этот метод применяется в системе UWB.

Принципы определения координат в RTLS

Расчет координат метки во всех позиционных радионавигационных системах, вне зависимости от применяемого метода измерения геометрических параметров, основан на определении точки пересечения так называемых поверхностей положения (или линий положения для определения координат метки в плоскости).

ToA

В методе ToA поверхностью положения для измерения расстояния между меткой и

базовой станцией служит сфера с центром в точке установки этой станции. Действительно — выполнив лишь одно это измерение можно с уверенностью считать, что метка находится в любой точке на поверхности сферы с радиусом, равным измеренной дальности. Для двухмерного случая линией положения служит окружность. Координаты метки можно вычислить путем выполнения измерений до нескольких базовых станций и определения точки пересечения сфер (окружностей) (рис. 1). Минимально необходимое для этого количество измерений диктуется количеством определяемых координат — три координаты метки для трехмерного случая могут быть однозначно рассчитаны на основе трех измерений дальностей. Количество точек пересечения сфер (окружностей) и возможность существования уникального решения зависит от геометрии расположения базовых станций. Так, расположение базовых станций в одной плоскости (на одной линии) приводит к тому, что таких точек пересечения оказывается две (рис. 2), а положение метки — неоднозначно.

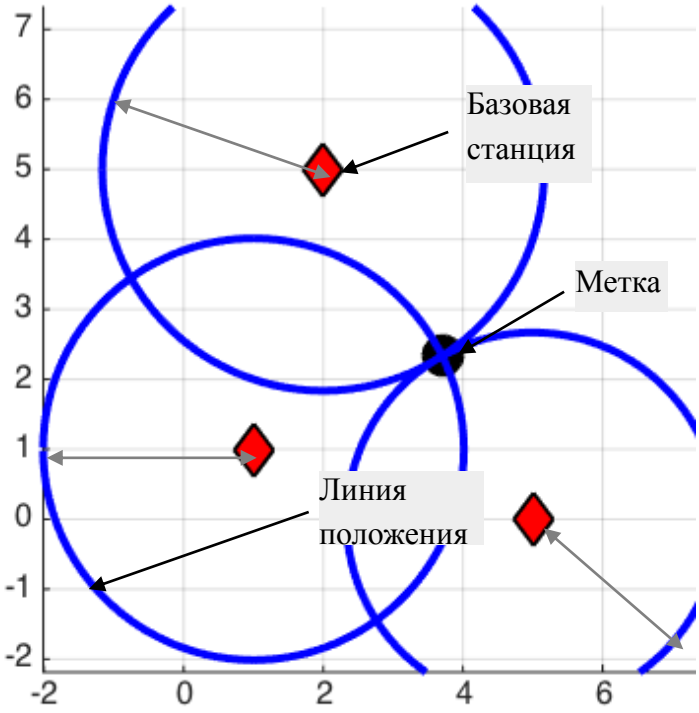


Рис. 1 Линии положения в ToA

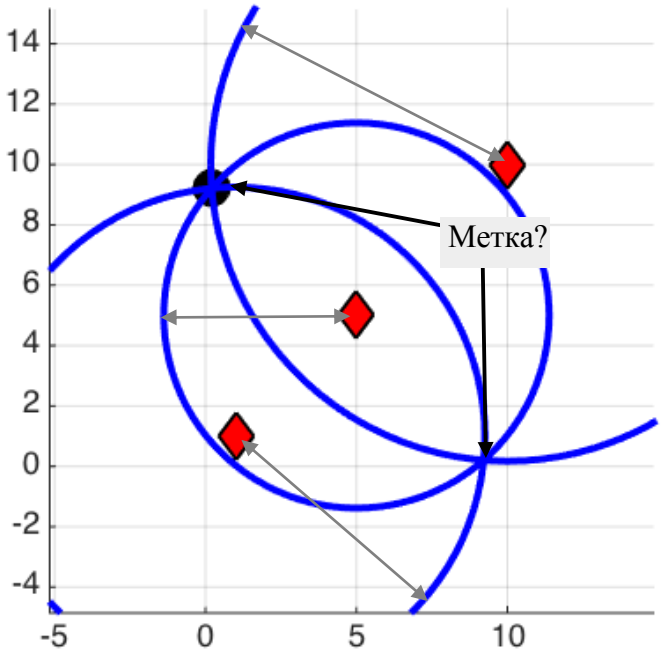


Рис. 2 Неоднозначность решения в ToA

TDoA

В методе измерения TDoA поверхностью положения, для каждой точки которой будет справедливыми проведенное измерение - разность расстояний между меткой и двумя базовыми станциями, является гиперболоид вращения (гипербола для определения координат метки в плоскости). Гиперболоид (гипербола) геометрически описывает тот факт, что для всех принадлежащих ему точек разность расстояний от этих точек до базовых станций одинакова. Координаты метки определяются координатами точки пересечения ряда гиперболоидов (гипербол), образованных множеством уникальных пар базовых станций (рис 3). Ситуация с неоднозначностью решения в случае расположения базовых станций в плоскости (на линии) аналогична ситуации, описанной для метода ToA.

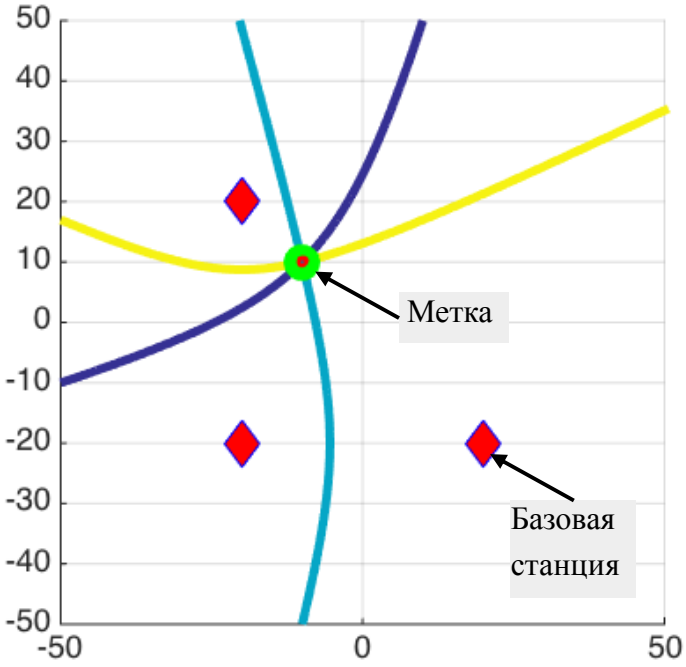


Рис. 3 Линии положения в TDoA

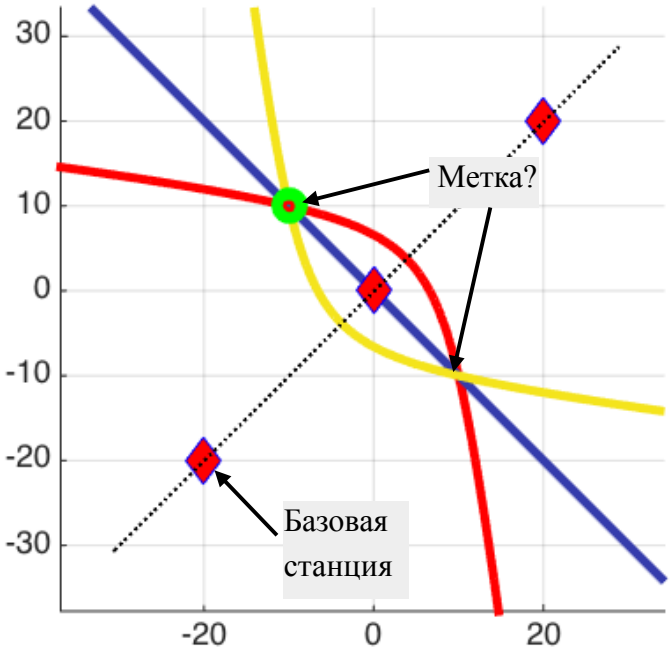


Рис. 4 Неоднозначность решения в TDoA

Рабочая зона системы RTLS

Точность определения координат мобильной метки в системе RTLS определяется рядом факторов:

- Точностью измерения основного геометрического параметра системы (дальности в ToA, разница дальностей в TDoA, и т. д.).
- Геометрией взаимного расположения мобильной метки и базовых станций

В то время как первый набор факторов определяется уровнем точности аппаратуры

системы (уровнем случайных шумов), а также параметрами среды, в которой проводятся измерения (наличие отражений, затенения и поглощения измерительных сигналов), второй, геометрический фактор присущ всем позиционным навигационным системам, и накладывает принципиальные ограничения на их функционирование с точки зрения определения их рабочей области.

Рабочей областью системы называется та часть пространства, покрываемого системой RTLS, в котором координаты метки могут быть определены с заданным уровнем точности. В общем виде, границы рабочей области определяют уровень влияния ошибок измерения основного геометрического параметра системы на уровень ошибок определения координат мобильной метки. Так, для меток, находящихся далеко за рабочей областью системы, даже незначительные ошибки определения основного геометрического параметра (дальности, разности дальностей) приведут к существенным ошибкам определения координат метки.

В целом, принимая во внимание принцип определения координат мобильной метки через отыскание точки пересечения поверхностей (линий) положения, можно заметить что точность отыскания такой точки зависит от угла, под которым пересекаются эти поверхности (линии): прямой угол доставляет минимальную ошибку определения, и наоборот — острый угол приводит к большим ошибкам.

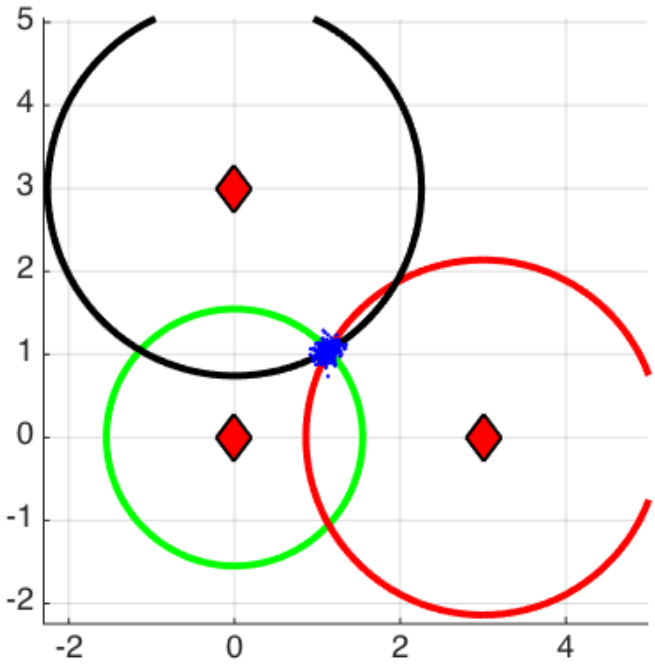


Рис. 5 Хорошая геометрия измерений в ToA

На рис. 5 приведены результаты определения координат метки в случае хорошей геометрии измерений и некоторых шумах измерителя для метода ToA. Синие точки отражают разброс вычисленных координат метки.

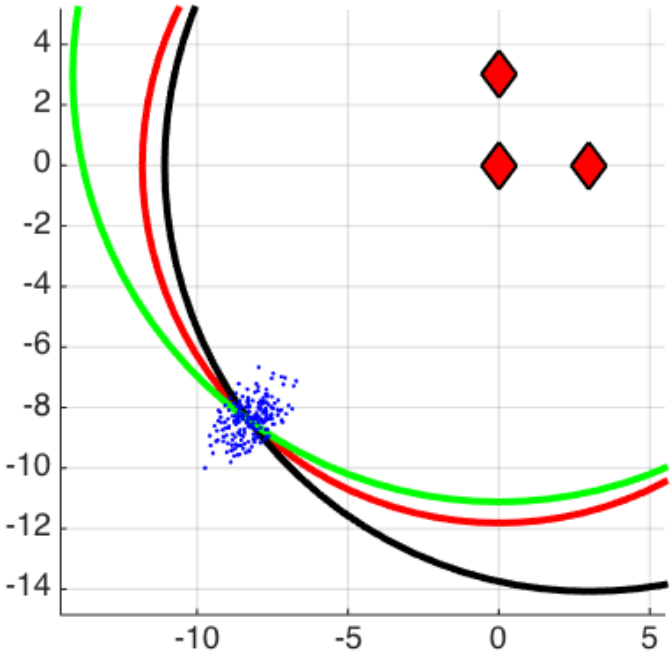
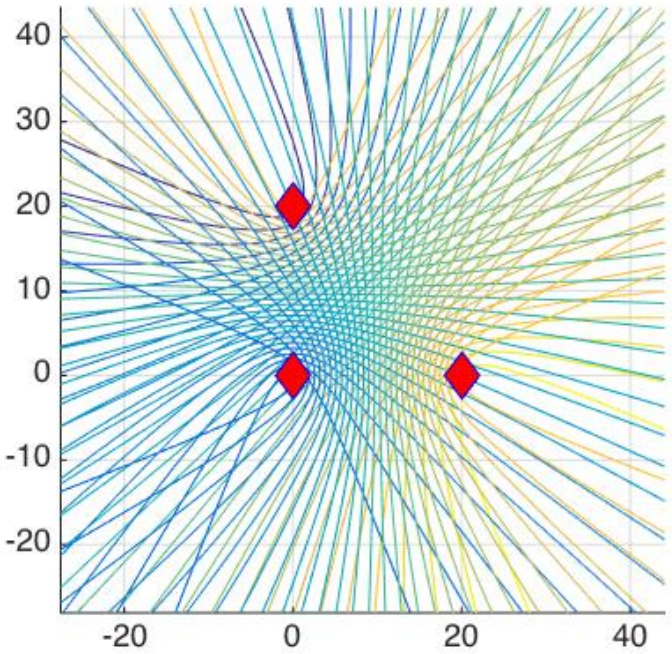


Рис. 6 Плохая геометрия измерений в ToA

Для метода TDoA соображения в части геометрического фактора точности определения координат метки аналогичны. Пересекающееся множество гипербол формирует сетку, причем ячейки этой сетки, близкие к прямоугольной определяют рабочую область системы



TDoA.

Рис. 7 Сетка гипербол для TDoA

Определение границ рабочей области системы RTLS

Традиционным подходом к определению рабочей области позиционной системой навигации является подход, основанный на определении границы Крамера-Рао (аналогично определяется геометрический фактор - GDOP в системе GPS). Он дает возможность определить зону, в рамках которой, при заданных уровнях шумов измерения геометрических параметров (дальностей-ToA или разностей дальностей-TDoA) и заданной геометрии расположения базовых станций, можно осуществить определение координат мобильной метки с точностью, не меньшей некоторого порогового значения.

На рис. 8-10 приведены границы рабочей области для метода ToA и трех пороговых значений точности определения координат метки — 0.5m, 1.0m, 3.0m. Шум измерения 0.3m.

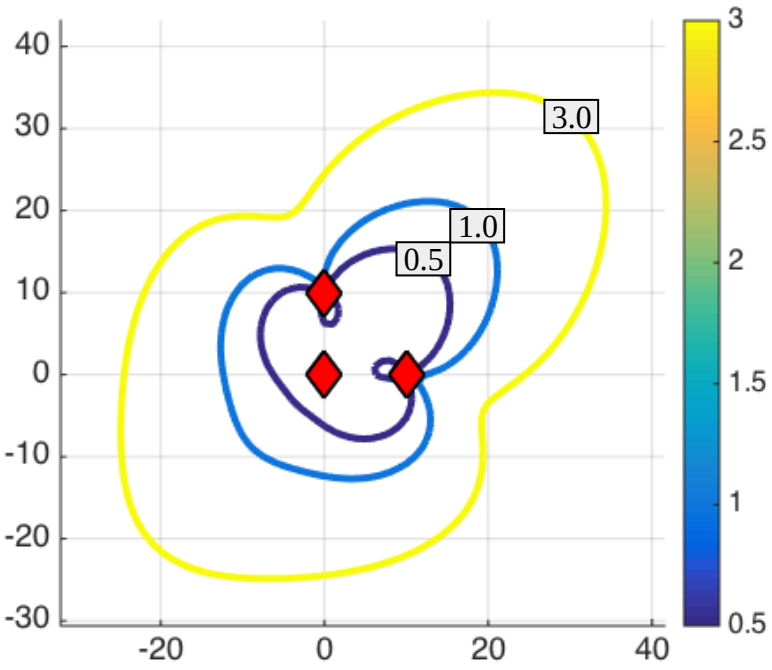


Рис. 8 Границы рабочей области в ToA

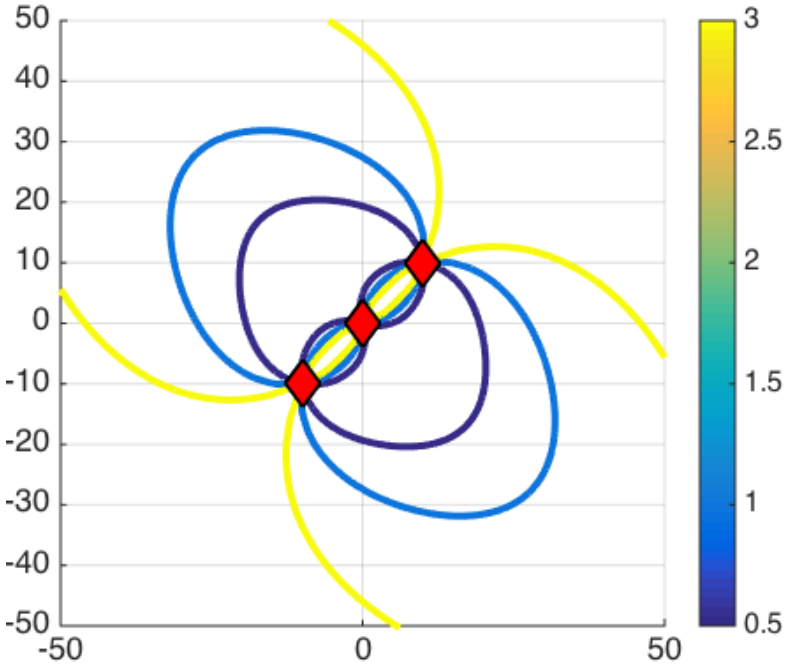


Рис. 9 Границы рабочей области в ToA

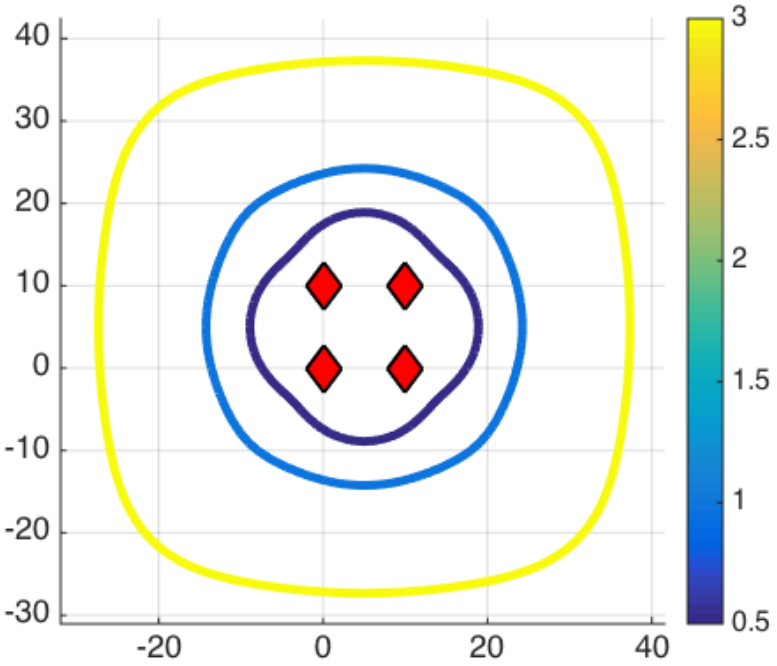
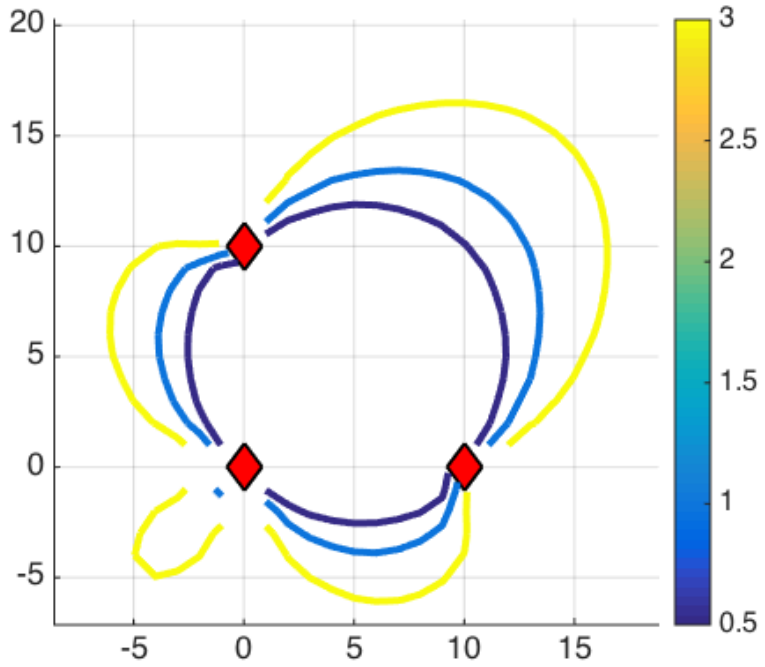


Рис. 10 Границы рабочей области в ToA

Из анализа рис. 8-10 видно, что наибольшая величина рабочей зоны достигается для регулярного расположения базовых станций, а расположение базовых станций на одной линии не позволяет достоверно определять координаты меток, находящихся на продолжении этой линии. В целом — координаты меток, лежащих внутри периметра, очерчиваемого базовыми станциями, определяются более достоверно, чем меток, лежащих за его пределом.

На рис. 11-13 приведены границы рабочей области для метода TDoA и трех пороговых



значений точности определения координат метки — 0.5m, 1.0m, 3.0m. Шум измерения 0.1m.

Рис. 11 Границы рабочей области в TDoA

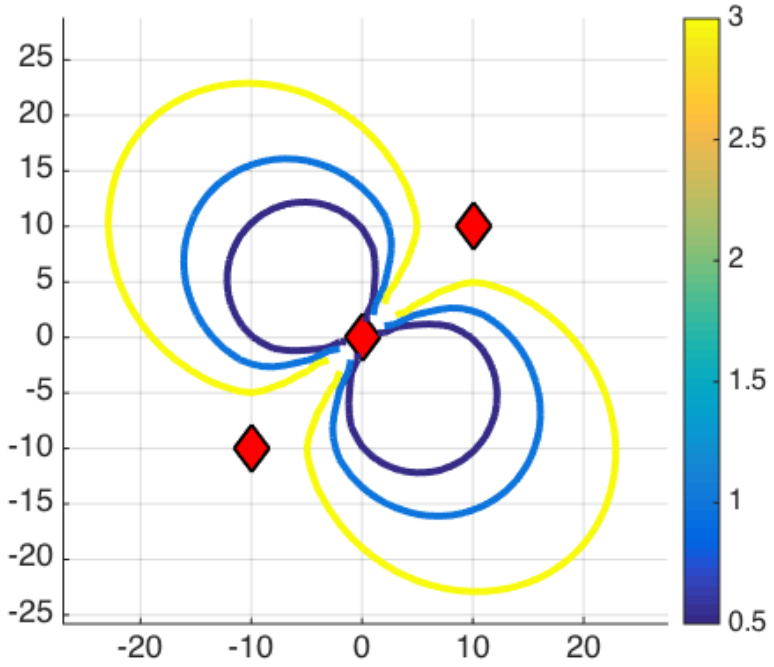


Рис. 12 Границы рабочей области в TDoA

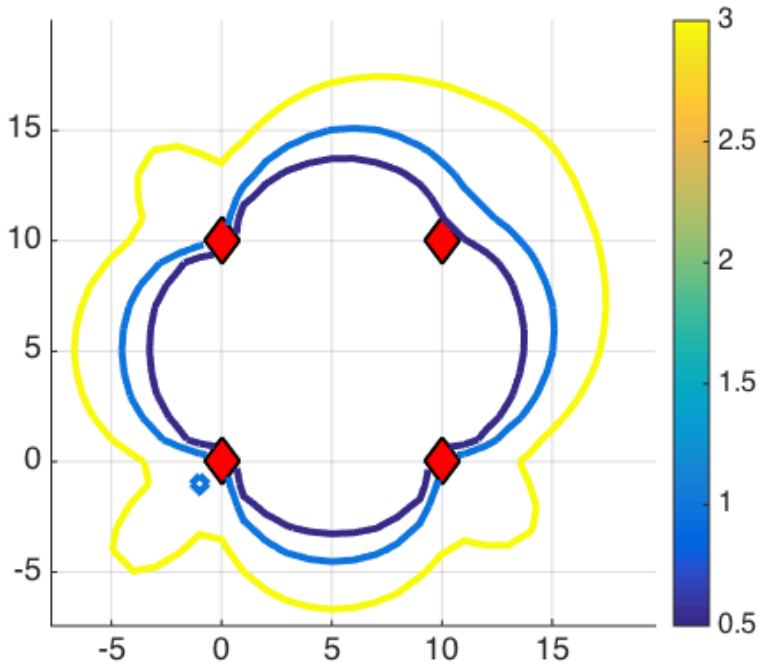


Рис. 13 Границы рабочей области в TDoA

Из анализа рис. 11-13 видно, что величина рабочей зоны для системы с методом TDoA значительно меньше величины рабочей зоны для системы с методом ToA. Общая конфигурация рабочей области и её основные свойства сохраняются.

Общие рекомендации по размещению базовых станций в системе RTLS

На основе изложенного выше можно определить следующие основные правила размещения базовых станций:

- В каждой точке площади, покрываемой системой RTLS, при решении задачи свободного, неограниченного перемещения метки, должна обеспечиваться одновременная «видимость» трех (для ToA) либо четырех (для TDoA) базовых станций.
- Следует избегать расположения базовых станций на линии, так как это приводит к неоднозначности координат метки и невозможности позиционирования в точках, близких к продолжению этой линии во внешней по отношению к базовым станциям области.
- Наилучшая точность координат метки может быть получена при её нахождении внутри периметра, очерченного «видимыми» базовыми станциями. За пределами этого периметра, особенно для метода TDoA, точность определения координат метки

быстро убывает.

При определении «видимости» базовых станций необходимо опираться на особенности конкретной среды, в которой проводятся измерения. Эта среда будет определять максимальную дальность измерений основного параметра системы, наличие отражений, затенений, и других искажений радиосигнала. Отметим, что приведенные графики рабочих областей системы RTLS приведены для идеализированного случая, в котором учитываются только лишь случайные шумы измерений базовых станций. На практике же, эти области будут иметь более сложную форму, и, вероятно, меньшие размеры.