

Проблемы использования Bluetooth Low Energy меток для идентификации и определения положения объектов

П. В. Степанов¹, Б. В. Соколов²

Лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН;
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
¹p.v.stepanov@hotmail.com, ²sokolov_boris@inbox.ru

Аннотация. В статье анализируется возможность использования технологии Bluetooth Low Energy для решения задачи идентификации объектов. Проводится анализ и сравнение способов решения в помещении задач навигации и идентификации. Выявляются особенности в методике и алгоритме. Предлагается набор инвариантных, общих для всех случаев и независимых от особенностей применения, программных и технических решений, реализация которых необходима для решения задачи идентификации.

Ключевые слова: навигация внутри помещения; определение положения; идентификация объектов; активные метки; метки с адаптивной логикой работы; Bluetooth Low Energy (BLE)

I. ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известна задача навигации объектов внутри помещения, решаемая с помощью расположения в фиксированных местах меток положения или якорей (Beacon). Метки постоянно шлют сигнал с интервалом один раз в секунду, чаще или реже, в зависимости от требования приложения. Сигнал принимается приёмником, обычно смартфоном (рис. 1). По уровню сигнала рассчитывается примерное расстояние до метки. Получая сигнал от трёх и более меток, можно однозначно определить зону положения приёмника. Точность местоположения объекта может быть существенно повышена при использовании специальных методов обработки сигналов, использования большего числа меток. Создатели алгоритмов обработки утверждают, что могут повысить точность до 1–1,5 метров для BLE 4 и до 0,5 метра для BLE 5, что для решения задач навигации человека внутри помещения это вполне приемлемый результат. В конечном счёте, человек оценивает ситуацию и принимает решение, а информация от навигатора носит вспомогательный характер.

Целью нашего исследования состояла в оценивании возможности использования BLE меток для идентификации объектов и определения их положения в пространстве.

Рассматриваемая схема является обратной по отношению к задаче навигации внутри помещения.

В фиксированных местах устанавливаются приёмники (рис. 2). Метки устанавливаются на объекты слежения. По уровню сигнала от метки, приёмник вычисляет расстояние до метки. Установив в помещении три или более приёмников, можно определить зону положения метки.

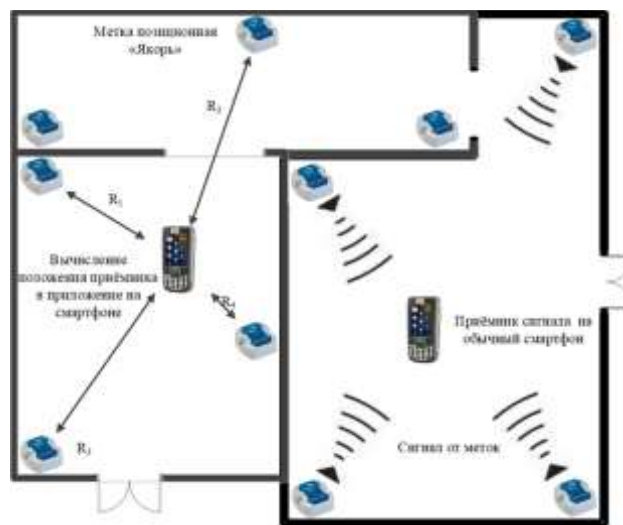


Рис. 1. Решение задачи навигации внутри помещения с помощью «якорных» меток и приложения на смартфоне

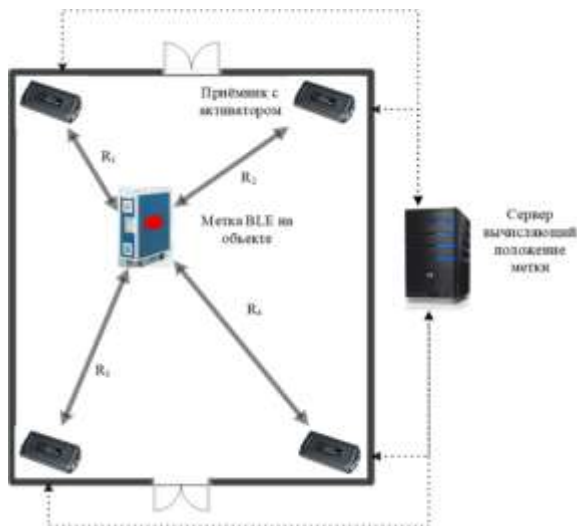


Рис. 2. Решение задачи идентификации объектов с помощью, установленных на них меток BLE и приёмников, установленных в фиксированных местах

В процессе исследования были определены новые задачи, возникающие при попытке использования меток BLE для идентификации и определения положения.

II. НЕОБХОДИМЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ УСТРОЙСТВА СЧИТЫВАЮЩИЕ МЕТКИ

При задаче навигации в помещении метки статичны, а перемещается приёмник сигналов – человек со смартфоном. Вычисление положения происходит локально на смартфоне специализированным приложением. Визуализация места положения также на локальном смартфоне, возможно с получением дополнительных данных из облака, например, таких как планы помещения.

При решении задачи идентификации и определения положения метки, необходимо получить сигнал от трёх или более приёмников на центральный сервер, который производит вычисление положения метки. Приёмники должны быть установлены статически и их координаты известны. Для практического применения приёмник должен иметь промышленное исполнение, защиту от внешних воздействий, устойчивое электропитание и иметь надёжный канал передачи связи на сервер.

III. СИНХРОНИЗАЦИЯ СИГНАЛОВ ОТ МЕТОК

При задаче навигации в помещение для определения положения используется последний сигнал от видимой метки. Некоторые алгоритмы используют методы фильтрации и усреднения значения уровней сигналов от метки.

При решении задачи идентификации и определения положения метки, необходимо чтобы три или более приёмников получили сигнал от метки и послали его далее на обработку. Сервер, получив пакеты с информацией от приёмников, должен понять, что именно эти пакеты, полученные от разных приёмников, содержат информацию об одном и том же положении метки. Необходим механизм

синхронизации пакетов с точностью до миллисекунд. Синхронизация по временной шкале трудно реализуема и не надёжна. Решением является введение уникального кода каждого посылаемого меткой сигнала. Например, инкрементального счётчика посылаемых сигналов. Такое решение требует разработки метки с дополнительной логикой и расширение стандартного протокола сообщений (iBeacon, Eddystone).

IV. ОБРАБОТКА БОЛЬШОГО ЧИСЛА СИГНАЛОВ ОТ МЕТОК

При задаче навигации в помещении для определения положения число меток, видимых приёмником не велико. Обычно не больше 10. Большее количество не улучшает точность позиционирования. Так же не важно сколько приёмников одновременно принимают сигнал. Их может быть и сотни и тысячи, что соответствует ситуации в больших гипермаркетах и аэропортах. Вычисление положения происходит локально на смартфоне и их общее число, одновременно находящихся в одном помещении, не влияет на надёжность, оперативность и точность позиционирования.

Число меток, одновременно находящихся в одном помещении (в зоне действия приёмников) зависит от типа маркируемого объекта и технологического процесса, но в общем случае это могут быть сотни, тысячи и десятки тысяч единиц. Потенциально это могут быть и сотни тысяч меток в одном контролируемом помещении.

Объём информации от приемников, обрабатываемый на центральном сервере, существенно зависит от числа меток в помещении. На один сигнал метки, в системе создаётся число пакетов пропорциональное числу приёмников. Возникает эффект мультипликации объёма информации. Возрастают требования к производительности приёмников и пропускной способности каналов связи между приёмниками и сервером.

V. НЕОБХОДИМА АДАПТИВНАЯ ЛОГИКА РАБОТЫ МЕТКИ

При задаче навигации в помещении метка работает в одном режиме – постоянно шлёт сигнал с заданным интервалом.

Адаптивная логика может быть наиболее эффективна для конкретных типов объектов с учётом особенностей технологических процессов. Но можно выделить и некоторые общие решения.

При решении задачи идентификации и определения положения метки, постоянная посылка сигнала меткой может оказаться избыточной и привести к большому объёму лишней информации и загрузке всей системы. Информация от метки важна только когда с ней что-то происходит. Изменяемая (адаптивная) логика работы метки может быть реализована через сигнал от приёмника или от внутреннего или внешнего сенсора. Это предполагает изменение конструкции метки и протокола обмена информацией.

Метка может находиться в состоянии ожидания. При получении соответствующего сигнала от приёмника, она начинает слать сигнал с определённым интервалом. Метка может пробудиться и начать слать сигнал, если сработает её внутренний акселерометр, датчик температуры, датчик удара и т. д.

Логика адаптивного управления метками определяется особенностями технологического процесса. Например, если объект находится в состоянии покоя, то нам не нужен сигнал от его метки каждую секунду или две. Достаточно сигнала один раз в сутки – подтверждение нахождения в помещении (инвентаризация).

Если объект начинает перемещение, то частота отправки сообщения меткой должна зависеть от возможной скорости перемещения и желаемой точности определения положения. Так, например, если человек переносит маркированную коробку, и мы хотим определить положение с точностью до 10 метров, то, при условии движения человека со скоростью 1 метр в секунду, метка должна слать сигнал один раз в 10 секунд. Если же нам надо определять положение с точностью до 1 метра, то метка должна слать сигнал один раз в секунду или чаще.

VI. ОБЩИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

A. Метод учёта областей достижимости

В общем случае для расчёта расстояния до метки используется значение уровня, полученного сигнал в сравнение с эталонным сигналом. Расчёт происходит по формуле – $RRSSI = 10^{\frac{(Pm-Pd)}{10 \cdot N}}$, где Pm уровень измеренного приёмником RSSI от метки, Pd – эталонный уровень сигнала метки на расстояние 1 метр, N – параметр затухания сигнала, зависит от многих факторов, определяется опытным путём и может меняться динамически [1].

Уровень измеряемого сигнала колеблется во времени и даже для неподвижной метки этот сигнал меняется. В реальности, вычисляя расстояние до метки D1 и D2, мы определяем не точку а некоторую область Z1 как на рис. 3. В следующий интервал измерения метка может переместиться только в пределах зоны Z2 размер которой определяется максимальной скоростью перемещения метки. Аналогично в последующий интервал времени метка может находиться в зоне Z3. Вычисляемые расстояния D1 и D2 для каждого момента времени должны корректироваться так чтобы расчётное положение метки попадало в соответствующую зону. Формула расчётов расстояния может иметь вид $Rt = F1(Rt-1, Vmax)$, где Rt – расчётное расстояние до метки в момент t, Rt-1 – расчётное расстояние до метки в момент t-1, Vmax – ограничения максимально возможной скорости перемещения метки.

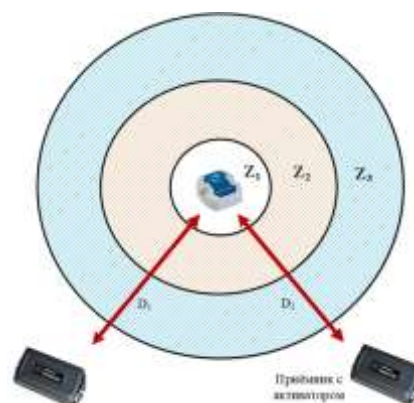


Рис. 3. Возможные зоны нахождения метки в последовательные интервалы времени и коррекция вычисляемых расстояний от метки до приёмника в соответствии с этими зонами

B. Метод параллельных расчётов

Размещая приёмника в помещении в фиксированных местах и вычисляя расстояние до метки можно простейшими методами определить положение. На рис. 4 показано размещение приёмников на одной высоте в четырёх углах помещения, точки A, B, C и D. Метка находится в точке T, t – проекция точки T на плоскость XY.

Значение Xt – координата метки по оси X может быть вычислено двумя способами:

$Xt1 = \frac{(AT^2 - BT^2 + AB^2)}{2AB}$, по треугольнику ABT, где AB – расстояние между приёмниками A и B, AT и BT – вычисленные расстояния по уровню сигнала от приёмников A и B до метки.

$Xt2 = \frac{(DT^2 - CT^2 + DC^2)}{2DC}$, по треугольнику DCT, где DC – расстояние между приёмниками D и C, DT и CT – вычисленные расстояния по уровню сигнала от приёмников D и C до метки.

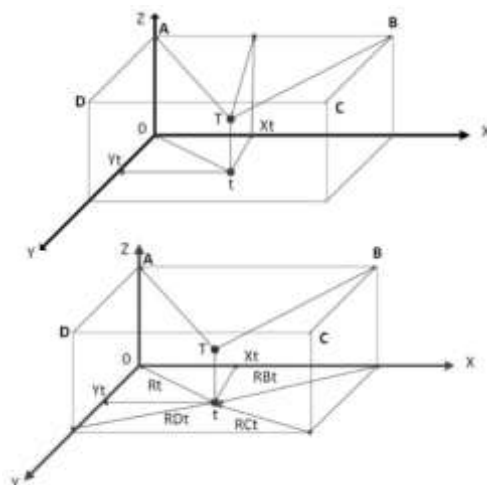


Рис. 4. Система координат для расчёта положение метки T. Приёмники находятся в точках A, B, C и D

Аналогично Y_t вычисляем по треугольнику ADT и BCT:

$$Y_{t1} = \frac{(DT^2 - CT^2 + DC^2)}{2DC}, Y_{t2} = \frac{(CT^2 - BT^2 + CB^2)}{2CB}$$

Координату Z_t можно рассчитывать по всем точкам A, B, C и D.

$$Z_{t1} = A - \sqrt{AT^2 - Y_{t1}^2 - X_{t1}^2}, Z_{t2} = B - \sqrt{BT^2 - Y_{t2}^2 - X_{t2}^2}, \\ Z_{t3} = C - \sqrt{CT^2 - Y_{t3}^2 - X_{t3}^2}, Z_{t4} = D - \sqrt{DT^2 - Y_{t4}^2 - X_{t4}^2}$$

Расчётные значения координат могут не совпадать, но должно быть $X_{t1} = X_{t2}$, $Y_{t1} = Y_{t2}$ и $Z_{t1} = Z_{t2} = Z_{t3} = Z_{t4}$. Этот факт можно использовать для корректировки расчётного значения расстояния от метки до приёмника и более точного определения положения метки. Формула расчётов расстояния может иметь вид $R_t = F_2(R_{t-1}, V_{\max}, X_i, Y_i, Z_i)$ где R_t – расчётное расстояние до метки в момент t , R_{t-1} – расчётное расстояние до метки в момент $t-1$, $V_{\max}$ – ограничения максимально возможной скорости перемещения метки, X_i – вычисленные значения X_{t1} и X_{t2} , Y_i – вычисленные значения Y_{t1} и Y_{t2} , Z_i – вычисленные значения Z_{t1} , Z_{t2} , Z_{t3} и Z_{t4} .

С. Метод меток положений

Другой метод корректировки расчётного значения расстояния от приёмника до метки – использование меток положения, для которых известно расстояние от приёмника рис. 5. Позиционные метки располагаются по периметру помещения и около дверей. Фактическое расстояние от приёмника до метки M2 – D2, до метки M3 – D3. Расстояние, рассчитанное по уровню RSSI до меток от приёмника D2i и D3i, будет меняться в зависимости от многих факторов, например от степени загрузки помещения и экранирования меток другими объектами. Формула расчётов расстояния может иметь вид $R_t = F_3(R_{t-1}, V_{\max}, X_i, Y_i, Z_i, D_2, D_{2i}, D_3, D_{3i})$ где по аналогии с $F_2(R_{t-1}, V_{\max}, X_i, Y_i, Z_i)$ добавляются фактические значения расстояния до выбранных меток D2, и D3 и вычисленные значения D2i и D3i.

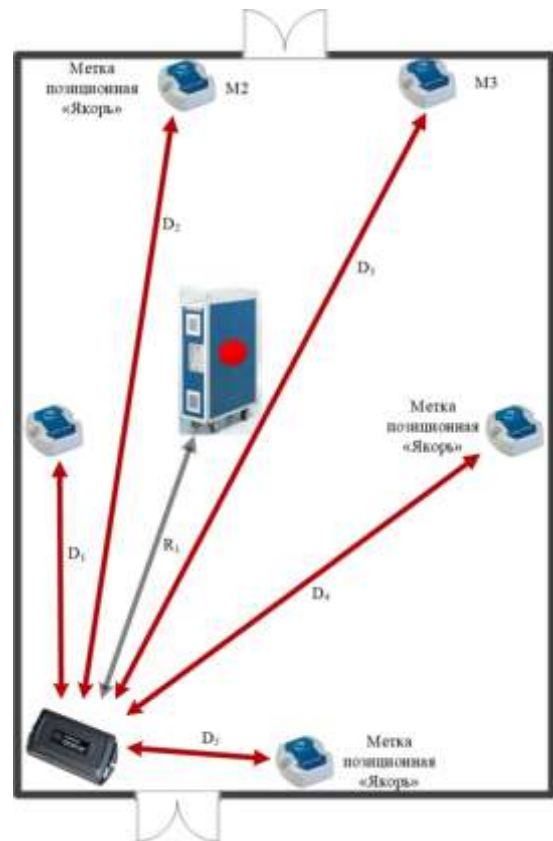


Рис. 5. Использование позиционных меток

Д. Методы основанные на особенностях маркировки объектов и особенностях технологических процессов

Технологические процессы накладывают серьезные ограничения на размещение и перемещение в пространстве маркированных объектов. Знание планов помещений, возможных направлений и максимально допустимую скорость перемещения могут существенно улучшить качество и точность определения положения объекта. Подробно такие методы рассмотрены в [2].

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Задача идентификации объектов может успешно решаться с помощью меток BLE.
- Требуется разработка новых типов меток с адаптивной логикой работы.
- Требуется разработка двустороннего протокола обмена информацией между приёмниками и метками.
- Требуется разработка приёмников промышленного типа, обеспечивающих высокую надёжность и скорость передачи информации.

- Необходимо использовать комбинированные методы корректировки расчётов расстояния до метки.
- Технология маркировки с помощью BLE меток имеет большой потенциал. В отличие от обычных штрих-кодов, она полностью исключает участие человека и, как комплексное решение, намного дешевле RFID технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] "Information Technologies of the Future" / Ed.: J.J. Park, L.T. Yang, S. Lee. 6th International Conference on Information Technologies of the Future, Proceedings FutureTech 2011, Crete, Greece, June 28-30, 2011.
- [2] Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Джао В.Ю-Д., Степанов П.В., Стыскин М.М. Особенности использования BLUETOOTH LOW ENERGY меток для идентификации и определения положения объектов в технологическом процессе наземного обслуживания воздушных судов гражданской авиации // Информатизация и связь. 2020. №6.