

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ IEEE 802.15.4

А.В. Поникар<sup>1</sup>, О.В. Евсеев<sup>1</sup>, В.Е. Анциперов<sup>2</sup>, Г.К. Мансуров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН  
[pontelle@gmail.com](mailto:pontelle@gmail.com)

*В докладе излагаются результаты исследования возможности локального (в закрытых помещениях) позиционирования мобильных узлов беспроводных сетей стандарта IEEE 802.15.4. Рассмотрен метод позиционирования по силе принимаемого радиосигнала. Исследовано влияние на точность измерения помех, связанных с внешними источниками, перекрытием линий сигнала и многолучевого распространения излучения. Приведены результаты численного моделирования и экспериментальные данные, полученные для простой геометрии помещений.*

Система глобального позиционирования (GPS) широко известна и сфера ее применений постоянно растет. На основе GPS решаются, в частности, задачи локализации (в том числе подвижных) объектов во времени и пространстве и обеспечиваются надежные оценки их местоположения практически в любой точке земной поверхности.

Тем не менее, у глобальных систем позиционирования есть существенный недостаток – они не работают в закрытых помещениях. Этот недостаток призваны устранить системы локального позиционирования (Local Positioning Systems - LPS).

Система локального позиционирования на основе беспроводных сетей представляет собой сеть стационарных узлов, а так же подвижные узлы, являющиеся мобильными объектами, координаты которых необходимо определить. На основе некоторых параметров сигналов, которыми обмениваются объекты и стационарные узлы, принимается решение о координатах объектов.

Основным достоинством беспроводных систем позиционирования в помещениях является возможность организации системы как дополнительной опции в уже развернутой сети.

Системы позиционирования можно классифицировать по параметрам радиосигналов, которые используются для вычисления координат мобильных узлов. В настоящее время существует три основных метода измерений: AOA, RSS и TOA (или TDOA).

В системах AOA (Angle of Arrival) координаты мобильных объектов рассчитываются по гониометрии. С помощью направленных антенн или набора антенн мобильным узлом измеряются углы прихода сигналов от стационарных узлов с известными координатами. По измеренным направлениям вычисляется координаты подвижного объекта. Точность этого подхода ограничена возможными затенениями сигнала на измеряющей апертуре, а так же из-за многолучевых отражений сигнала, когда последний может приходиться с ложных направлений.

Методы TOA (Time Of Arrival) и TDOA (Time Difference Of Arrival) основаны на измерении времени распространения сигнала от передатчика до приемника так, чтобы, на его основе можно было рассчитать расстояние между передатчиком и приемником. В методе TOA время распространения вычисляется как разность времен отправки сигнала передатчиком и приема сигнала приемником для чего требуется очень точная синхронизация часов отправителя и получателя. Метод TDOA более практичен, так в нем измеряется время распространения от передатчика к приемнику и обратно по часам передатчика, т.е. не требуется синхронизации часов.

В системах RSS решение о координатах объектов принимается на основе силы принимаемого сигнала RSS (received-signal strength). Одним из используемых методов локализации в таких сетях является Fingerprinting или локализация по шаблону. В данном методе выполняется поиск по шаблону на соответствие текущей силы сигнала имеющейся в базе данных. Недостатком этого метода является наличие стадии обучения, в которой требуется много времени и ресурсов для накопления исчерпывающего набора данных [1].

Альтернативой методу Fingerprinting выступают различные математические алгоритмы, нацеленные на максимальное соответствие снимаемых данных RSS модели распространения сигнала [2], [3]. Очевидно, что точность данных методов в значительной степени зависит от точности построения модели распространения сигнала. Поэтому часто возникают сложности с позиционированием в сложной или изменяющейся обстановке.

Для создания реальных систем позиционирования, на сегодняшний день, разработаны и доступны к применению, как ряд беспроводных стандартов, так и соответствующая элементная база. Одним из таких стандартов является IEEE 802.15.4.

IEEE 802.15.4 - стандарт, который определяет физический уровень и управление доступом к среде для беспроводных сетей с малым энергопотреблением и низкой стоимостью конечных устройств. Стандарт 802.15.4 - основа для протоколов ZigBee, WirelessHART и MiWi, каждый из которых в свою очередь определяет верхние уровни сети, которые не регламентируются стандартом. Протокол ZigBee может быть реализован, в частности, на беспроводных приемо-передатчиках XBee™ - малогабаритных модулях, предназначенных для построения беспроводных сенсорных сетей. Модули содержат встроенный протокол пакетной передачи данных с проверкой целостности передаваемых данных. В XBee™ на уровне API (Application Programming Interface) доступна индикация силы сигнала RSSI (Received-Signal Strength Indication). Поэтому использование RSSI для локализации в беспроводных сетях на передатчиках XBee™ не требует разработки специальных схемных дополнений. Величина RSSI измеряется в дБм и определяется как

$$P_{dBm} = 10 \lg \left( \frac{P_{mW}}{1mW} \right), \quad (1)$$

где  $P_{mW}$  - мощность сигнала в мВт.

Для исследования возможности позиционирования на основе силы принимаемого сигнала была создана сеть приемо-передатчиков XBee™, основными элементами которой являются:

- Объект, представленный мобильным узлом, передающий в эфир широкополосные пакеты, которые принимаются ближайшими узлами. В пакете передается идентификатор текущей серии пакетов, используемый для усреднения RSS на сервере.
- Ретранслятор - стационарный узел, анализирующий все пришедшие пакеты. При получении сообщения с сервера выполняется запрашиваемая сервером команда (переход в активный режим или режим сна). При получении пакета не от сервера узел формирует новый пакет для отправки на сервер, в котором содержится информация об отправителе и силе полученного сигнала.
- Сервер обрабатывает информацию о силе сигналов, полученных узлом от объекта, усредняя значение RSSI по всем пакетам в одной серии.

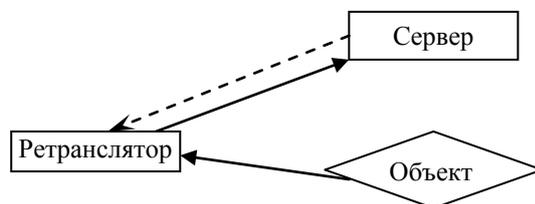


Рис. 1. Устройство сети

Сеть на рис. 1 при заданных координатах ретранслятора, потенциально позволяет определить удаленность объекта, основываясь на индикации уровня RSS сигнала, передаваемого объектом ретранслятору.

Алгоритмы локального позиционирования на основе RSSI, не использующие Fingerprinting, моделируют распространение сигнала от передатчика к приемнику, на основе чего определяется зависимость RSSI от расстояния объект-приемник. Простейшей моделью является модель прямого распространения, учитывающая только затухание сигнала:

$$P(r)_{dBm} = P(r_0)_{dBm} + 10 \cdot d \cdot \log \left( \frac{r_0}{r} \right) + \varepsilon, \quad (2)$$

где  $P(r)_{dBm}$  - значение RSSI на расстоянии  $r$ ,  $P(r_0)_{dBm}$  - значение RSSI на заданном расстоянии  $r_0$ ,  $d$  - коэффициент затухания сигнала (близок к 2), а  $\varepsilon$  - добавка, обусловленная внешними факторами и имеющая, соответственно, случайный характер. Как правило,  $\varepsilon$  предполагается нормально распределенной величиной [4-6].

Однако, в проведенных нами опытах обнаружено, что  $\varepsilon$  имеет неслучайный характер.  $\varepsilon$  достаточно стационарна по времени, а по пространству  $\varepsilon$  имеет достаточно регулярную периодическую составляющую. В связи с этим была выдвинута гипотеза, что основной причиной такого поведения является эффект замирания сигнала из-за многолучевого распространения. При

многолучевом распространении волны испускаемые передатчиком распространяются по различным траекториям, испытывая отражения от стен, пола, потолков, мебели и т.д. В итоге, в точке нахождения приемника волны интерферируют, и измеряется мощность более сложной картины поля, нежели мощность при прямом распространении сигнала (2).

Мы построили модель многолучевого распространения радиосигнала, для того чтобы более точно описать флуктуации  $\varepsilon$ . Данная модель описывает распространение радиосигнала в помещении типа коридора, а приемник и источник сигнала находятся на линии вдоль оси коридора. Стены, пол и потолок рассматриваются, как поверхности с некоторым коэффициентом отражения  $K$ , предполагаемом независимым от угла отражения. Для моделирования распространения применялся метод мнимых источников. Т.к. длина коридора гораздо больше ширины и высоты, отражения от торцевых стен не рассматриваются. Также не рассматриваются многократные отражения.

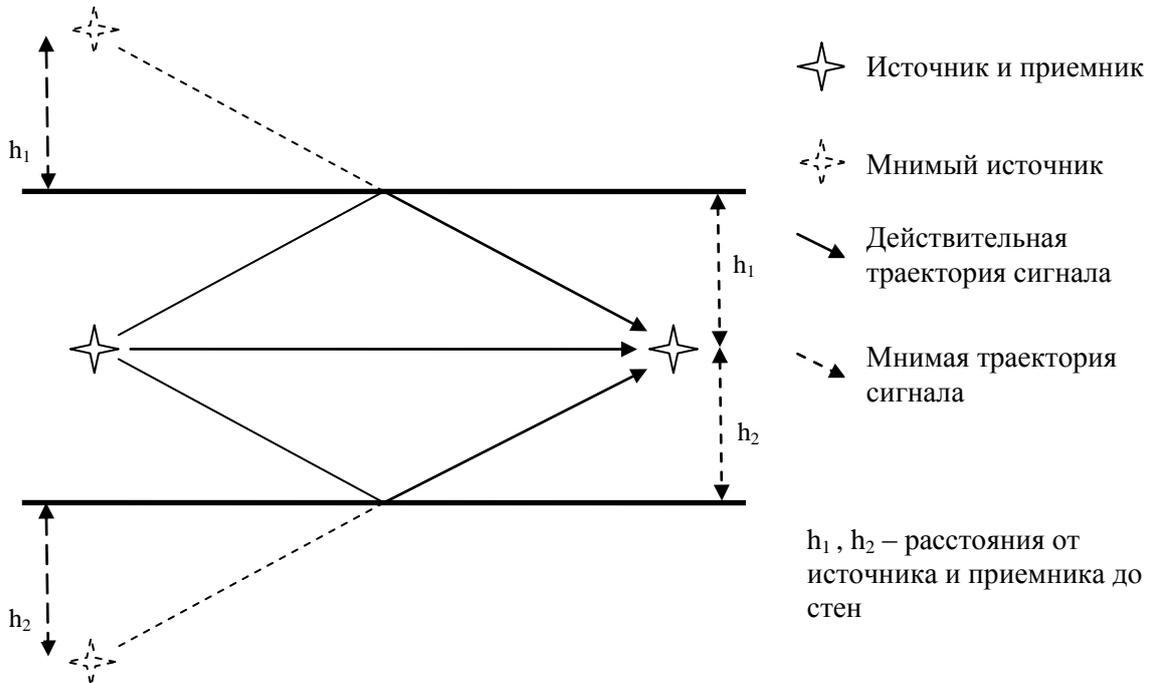


Рис. 2. Распространение сигнала в горизонтальной плоскости.

В модели распространения все отражающие поверхности были заменены мнимыми источниками сигнала, расположенными симметрично относительно этих поверхностей (рис. 2). На рисунке изображено расположение мнимых источников в горизонтальной плоскости на расстоянии  $h_1$  и  $h_2$  от стен, аналогично расположены мнимые источники в вертикальной плоскости, где  $h_3$  и  $h_4$  - расстояния от мнимых источников до пола и потолка соответственно. Расстояния от приемника до

действительного источника есть  $r_1(x) = x$ , до 4-х мнимых -  $r_2(x) = \sqrt{(2h_1)^2 + x^2}$ ,  $r_3(x) = \sqrt{(2h_2)^2 + x^2}$ ,  $r_4(x) = \sqrt{(2h_3)^2 + x^2}$ ,  $r_5(x) = \sqrt{(2h_4)^2 + x^2}$ . Мощность в точке приема:

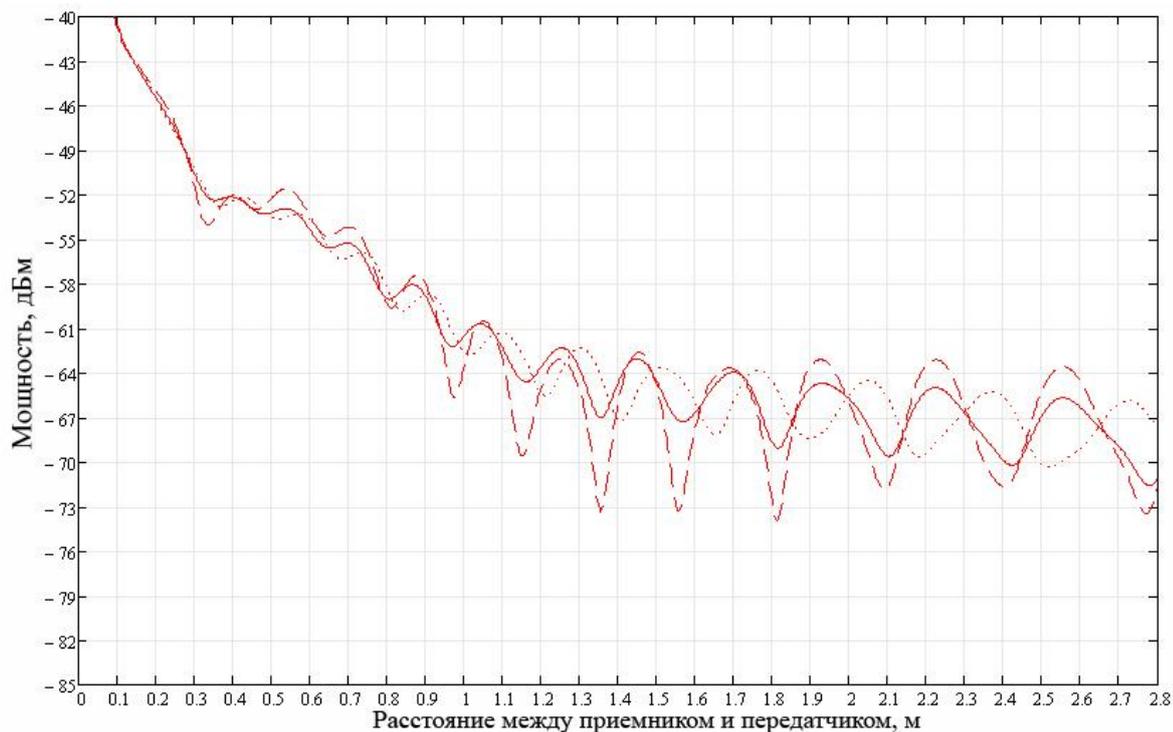
$$P(x)_{mW} = |E_1(x) + E_2(x) + E_3(x) + E_4(x) + E_5(x)|^2, \quad (3)$$

где  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  - волновое число,  $\lambda$  - длина волны излучаемого сигнала,  $K$  - коэффициент отражения,

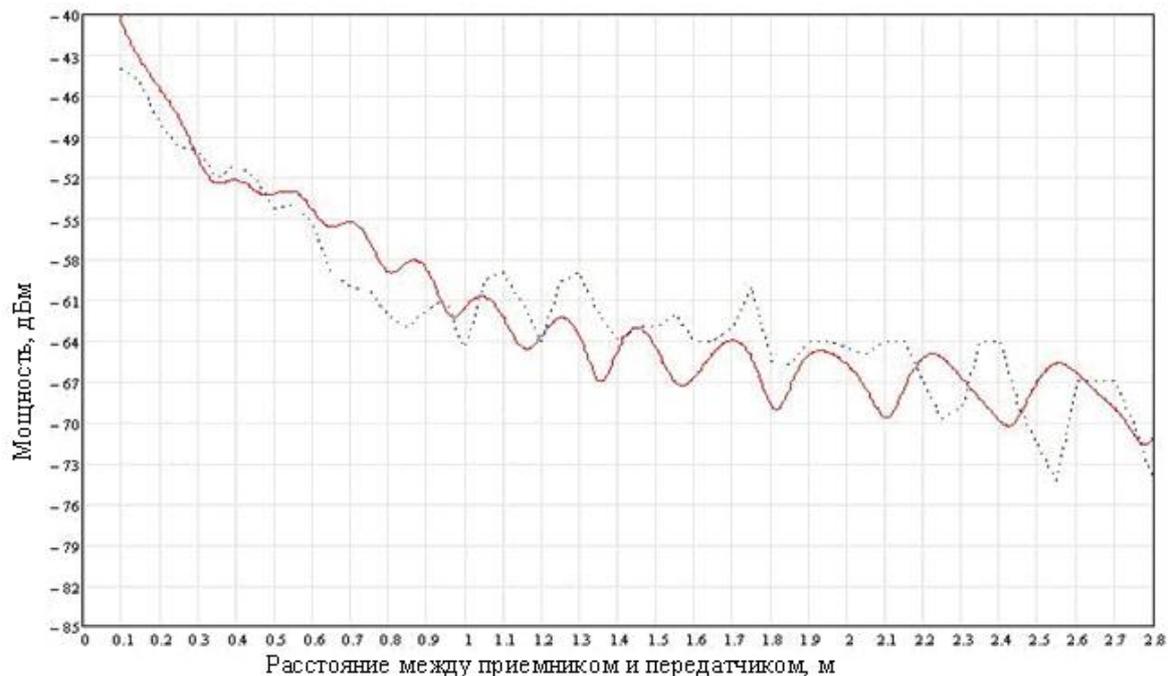
$E_1(x) = \frac{A}{r_1} \cdot e^{i \cdot k \cdot r_1}$  - принимаемый сигнал от действительного источника,  $A$  - амплитуда,

принимаемого сигнала от действительного источника,  $E_j(x) = \frac{A \cdot K}{r_j} \cdot e^{i \cdot k \cdot r_j}$   $j = 2, \dots, 5$  - принимаемые

сигналы от мнимых источников. Значение RSSI определяется по формуле (1) с учетом (3). На рис. 3 приведены несколько зависимостей величины RSS от расстояния между источником и приемником для разных геометрий помещения в модели многолучевого распространения, на рис. 4 приведено сравнение с экспериментальными данными..



**Рис. 3.** Зависимость величины RSS от расстояния между источником и приемником  
Сплошная линия:  $h_1 = h_2 = 1.5$ ,  $h_3 = 0.2$ ,  $h_4 = 4.8$ ,  $K = 0.21$ ;  
Штрихованная линия:  $h_1 = h_2 = 1.5$ ,  $h_3 = 0.2$ ,  $h_4 = 4.8$ ,  $K = 0.4$ ;  
Пунктирная линия:  $h_1 = h_2 = 1.45$ ,  $h_3 = 0.2$ ,  $h_4 = 4.8$ ,  $K = 0.21$ ;



**Рис. 4.** Зависимость величины RSS от расстояния между источником и приемником.  
Сплошная линия: модельные расчеты;  
Пунктирная линия: эксперимент;

Для подтверждения модели был проведен следующий эксперимент. Приемник и источник сигнала расположены на линии вдоль оси коридора на расстоянии 1.5 метра от стен, 0.2 метра от пола и 4.6 метра от потолка. На некотором расстоянии от системы, чтобы не мешать распространению сигнала, расположен сервер. Первоначально расстояние между приемником (узел) и источником сигнала (объект) 10 см. С сервера на объект отправлялась команда послать пакет узлу. Объект посылал широкополосный пакет, узел принимал его, выделял значение RSSI и отправлял на сервер пакет в поле «данные» которого записано значение RSSI только что принятого пакета. Сервер принимал пакет, выделял из поля «данные» значение RSSI и сохранял его. Далее объект сдвигали на пять сантиметров от узла и сценарий повторялся. На основе собранных данных был получен график, представленный ниже (рис. 4). На этом же рисунке изображена модельная кривая со следующими значениями коэффициентов:  $\lambda = 0.125 м$ ,  $K = 0.21$ ,  $A = 10^{-3}$ ,  $h_1 = 1.5 м$ ,  $h_2 = 1.5 м$ ,  $h_3 = 0.2 м$ ,  $h_4 = 4.6 м$ .

Сравнивая экспериментальный и модельный график, видно, что зависимости сходные. Полного совпадения нет по тем причинам, что модель учитывает только сумму прямого и однократно отраженных сигналов, а отражающие поверхности предполагаются идеально ровными и однородными. Тем не менее, видно, что экспериментальные данные удовлетворительно описываются моделью.

Таким образом, подводя итоги исследования, можно заключить, что основной причиной отличия значений RSSI, полученных экспериментально, от модели прямого распространения сигнала (2) является эффект замирания сигнала из-за многолучевого распространения. Влияние этого эффекта необходимо учитывать при построении алгоритмов позиционирования в помещениях по значениям RSSI.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. K. Kaemarungsi, "Design of Indoor positioning system based on location fingerprint technique". University of Pittsburgh, 2005.
2. G. V. Záruba, M. Huber, F. A. Kamangar and I. Chlamtac, "Indoor location tracking using RSSI readings from a single Wi-Fi access point", 2006.
3. R. Zemek, D. Anzai, S. Hara, K. Yanagihara, K. Kitayama, "RSSI-based Localization without a Prior Knowledge of Channel Model Parameters", 2008.
4. Henar Martín, Paula Tarrío, Ana M. Bernardos, and José R. Casar, "Experimental Evaluation of Channel Modelling and Fingerprinting Localization Techniques for Sensor Networks", 2009.
5. <http://priorartdatabase.com/IPCOM/000141520>
6. Dimitrios Lymberopoulos, Quentin Lindsey, and Andreas Savvides, "An Empirical Characterization of Radio Signal Strength Variability in 3-D IEEE 802.15.4 Networks Using Monopole Antennas", 2006