РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ В СЕТИ WI-FI

Е.В. Кокорева*, к.т.н., Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, elen.vik@gmail.com;*
А.Е. Костюкович*, к.т.н., Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, aek1954@gmail.com.*

УДК 621.39

Аннотация. Важной задачей, поставленной перед разработчиками системы локального позиционирования, является повышение точности вычисления координат мобильного объекта. Решение этой задачи связано с верным выбором модели распространения радиоволн внутри помещений для определения расстояния между абонентским устройством и точкой доступа. В статье приводятся результаты экспериментов, проведенных в тестовой сети *Wi-Fi*, которые позволяют выявить основные проблемы системы локации и предложить способы их решения.
Ключевые слова*:* координаты; локация; позиционирование; местоположение; *RSSI*; *Wi-Fi*; точка доступа.

RESULTS OF POSITIONING SYSTEM FIELD TESTS IN THE WI-FI NETWORK

E.V. Kokoreva*, Associate Professor, Siberian State University of Telecommunications and Informatics;*
A.E. Kostyukovich*, Associate Professor, Siberian State University of Telecommunications and Informatics.*

Annotation. An important task for the developers of the local positioning system is to improve the accuracy of calculating the mobile object’s coordinates. The solution to this problem depends on the correct choice of the indoor radio propagation model to determine the distance between the subscriber device and the access point. The article presents the results of experiments carried out in a test *Wi-Fi* network, which allow to identify the main problems of the location system and to propose the methods of solving them.
Keywords*:* coordinates; location; positioning; *RSSI*; *Wi-Fi*; access point.

Введение

Сервисы, предоставляемые современными системами мобильной связи в большинстве своем невозможны без определения местоположения. К ним относятся системы обеспечения безопасности помещений от взломов и проникновений; мониторинг транспортных средств и логистических потоков; ориентации посетителей внутри больших помещений (торговых центров, складов, стадионов, МФЦ и т.п.); помощи в проведении спасательных операций (обнаружение пострадавших) в замкнутых пространствах, например, подвалах, шахтах, тоннелях и пр.; телемедицинских услуг для оказания медицинской помощи в экстренных случаях. Традиционно для этой цели применяют системы глобальной навигации *GPS* или ГЛОНАСС, которые обеспечивают недостаточную точность позиционирования внутри помещений из-за плохого проникновения спутникового сигнала через различные препятствия (перегородки и перекрытия) [1-2].

Задача повышения точности локального позиционирования предъявляет высокие требования к методикам и алгоритмам определения координат мобильного объекта. В частности, это касается адаптации моделей распространения радиоволн внутри помещений, которые служат для определения расстояния между передатчиком и приемником, к окружающей электромагнитной обстановке.

Стандарт *IEEE* 802.11 предоставляет наиболее подходящую основу для реализации системы локации внутри помещений, поскольку корпоративные *Wi-Fi* сети распространены повсеместно, они легко устанавливаются, конфигурируются и не требуют больших денежных затрат [3].

Для определения координат абонентского устройства в сети от него требуется измерение одного или нескольких физических параметров сигнала, поступающего от точки доступа *Wi-Fi*. К этим параметрам относятся: индикатор уровня принимаемого сигнала *RSSI* (англ. *Received Signal Strength Indicator*); время распространения *TOF* (англ. *Time Of Flight*) или относительное время прибытия *TDOA* (англ. *Time Difference Of Arrival*); направление прибытия сигнала *DOA* (англ. *Direction Of Arrival*) или угол прибытия *AOA* (англ. *Angle Of Arrival*) [4-5].

В исследуемой системе для локации используется параметр *RSSI*, который извлекается абонентским устройством из заголовка принятого от точки доступа *AP* (англ. *Access Point*) пакета.

Разработка и тестирование системы локального позиционирования в *Wi-Fi* сети

Структурная схема сети стандарта *IEEE* 802.11*ac* для проведения экспериментов представлена на рис. 1. Сеть располагается на трех этажах учебного корпуса университета. Каждый этаж содержит от трех до шести точек доступа, объединенных в локальную сеть для обмена информацией между сотрудниками и студентами учебного заведения, а также доступа к сети интернет.

Расстояние между точками доступа на каждом этаже выбрано в соответствии с результатами частотно-территориального планирования сети, таким образом, чтобы обеспечить максимально возможную пропускную способность для абонентов.

Система реализована на оборудовании российского разработчика и производителя – компании Элтекс. На рис. 1 можно видеть основные сетевые устройства, а также протоколы мониторинга и управления, поддерживающие работоспособность как тестовой сети, так и системы определения местоположения в ней.

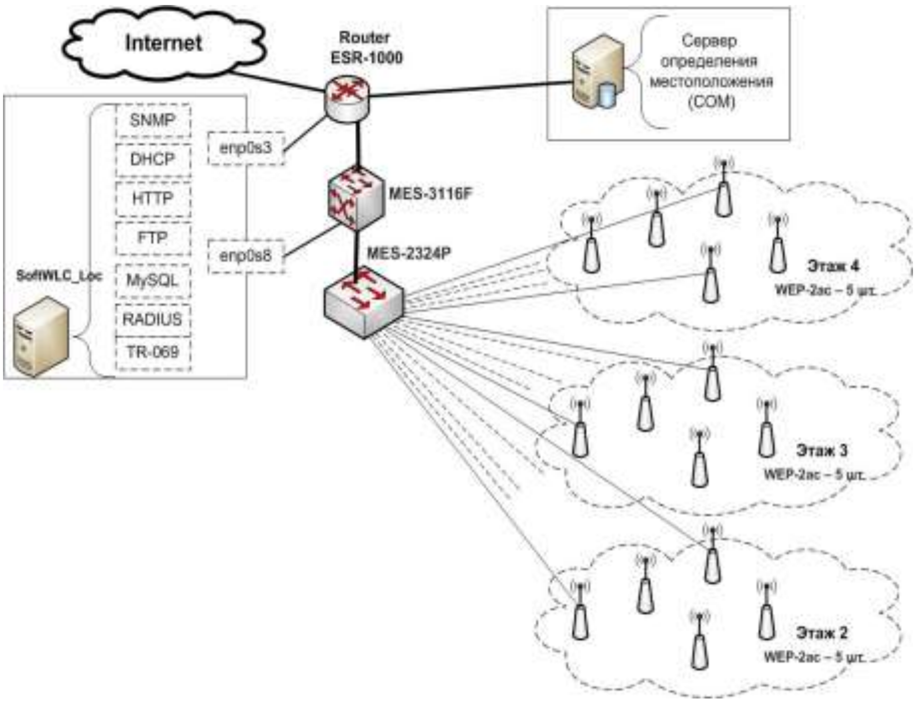

Рисунок 1

Основные процедуры позиционирования выполняются Сервером Определения Местоположения (СОМ), который в рассматриваемой структурной схеме связан с *SoftWLC* – программным контроллером управления беспроводной локальной сетью. СОМ содержит необходимое программное обеспечение [6-7].

Все сетевые узлы, исключая абонентские устройства, используют для соединения друг с другом проводную среду *UTP*-5 с технологией *Ethernet*. Точки доступа подключены к 24-портовому коммутатору *MES*-2324*P* с поддержкой питания *PoE*. Во время установки точек доступа предусмотрен запас кабеля до 10 м, что позволяет размещать и перемещать точки доступа под фальшпотолком. Для централизованного управления и автоматической настройки параметров *AP* они сконфигурированы в режиме «Кластер», что обеспечивает простое масштабирование сети.

Для сегментации локальной сети используются несколько виртуальных сетей. Через *VLAN* 10 передается трафик управления точками доступа *Wi-Fi*, а *VLAN* 20 и *VLAN* 30 служат для обслуживания трафика пользователей (преподавателей, сотрудников и студентов) корпоративной сети, а также для доступа в интернет.

Аутентификацию пользователей сети *Wi-Fi* через *web*-портал осуществляет контроллер *SoftWLC*. Контроллер также содержит в своем составе *DHCP*-сервер, занятый раздачей *IP*-адресов точкам доступа и пользователям сети, а кроме того, выступает в роли маршрутизатора между перечисленными выше *VLAN*. Все пакеты, маршрутизируемые во внешнюю сеть (через интерфейс *enp*0*s*3), подвергаются *NAT* (англ. *Network Address Translation*).

В описанной выше экспериментальной сети для составления образцовых карт помещения было произведено несколько тысяч измерений уровня мощности принятого сигнала в эталонных точках (с известными координатами) помещений.

Измерения проводились с помощью нескольких мобильных устройств для обеспечения репрезентативности выборки и далее подверглись статистической обработке, результаты которой были сохранены в таблицах, небольшой фрагмент, одной из которых представлен ниже (табл. 1). Обозначения точек доступа в таблице означают номер этажа и через дефис номер *AP*.

Данные таблиц были использованы для определения координат объекта методами ближайшей точки доступа или трилатерации с применением различных моделей распространения радиоволн. Расстояние от объекта до каждой из трех ближайших *AP* было вычислено с помощью моделей: распространения в свободном пространстве (формула Фрииса); с одним наклоном; со многими стенами и *ITU-R P*.1238.8 [8-11].

Пример определения координат объекта, находящегося в точке с координатами (8,6 13,8 5,0) приведен в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что все результаты вычисления координат объекта кроме модели *PPB* в свободном пространстве попадают в зону образцовой точки, очерченную окружностью диаметром 5 м, что соответствует заданной точности. Координаты, полученные с использованием формулы Фрииса выходят далеко за пределы здания, это означает, что, если точки доступа отделены перегородками или перекрытиями от целевого объекта, данная модель не может быть использована внутри помещения.

Таблица 1.

<table>
<tr><th rowspan="3">№ точки</th><th colspan="3">Координаты</th><th rowspan="3">№ измерения</th><th colspan="3">RSSI</th></tr>
<tr><th>X</th><th>Y</th><th>Z</th><th>AP 2-1</th><th>AP 2-4</th><th>AP 2-5</th></tr>
<tr><th>м</th><th>м</th><th>м</th><th>дБм</th><th>дБм</th><th>дБм</th></tr>
<tr><td rowspan="4">1</td><td rowspan="4">8,6</td><td rowspan="4">13,8</td><td rowspan="4">5,0</td><td>1</td><td>-68,0</td><td>-53,4</td><td>-73,0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>-70,0</td><td>-51,2</td><td>-71,0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>-70,5</td><td>-53,5</td><td>-69,0</td></tr>
<tr><td>Среднее</td><td>-69,5</td><td>-52,7</td><td>-71,0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">2</td><td rowspan="4">8,6</td><td rowspan="4">16,8</td><td rowspan="4">5,0</td><td>1</td><td>-72,0</td><td>-47,0</td><td>-66,0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>-69,0</td><td>-39,9</td><td>-65,0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>-70,5</td><td>-51,1</td><td>-66,9</td></tr>
<tr><td>Среднее</td><td>-70,5</td><td>-46,0</td><td>-66,3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">3</td><td rowspan="4">8,6</td><td rowspan="4">22,8</td><td rowspan="4">5,0</td><td>1</td><td>-67,0</td><td>-53,0</td><td>-64,0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>-69,0</td><td>-50,0</td><td>-62,0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>-63,5</td><td>-50,9</td><td>-66,0</td></tr>
<tr><td>Среднее</td><td>-66,5</td><td>-51,3</td><td>-64,0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4</td><td rowspan="4">10,6</td><td rowspan="4">13,8</td><td rowspan="4">5,0</td><td>1</td><td>-62,0</td><td>-57,6</td><td>-61,8</td></tr>
<tr><td>2</td><td>-64,0</td><td>-59,2</td><td>-58,0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>-63,9</td><td>-57,2</td><td>-59,0</td></tr>
<tr><td>Среднее</td><td>-63,3</td><td>-58,0</td><td>-59,6</td></tr>
</table>

Таблица 2.

	X	Y	Z	Расстояние до AP 2-1	Расстояние до AP 2-4	Расстояние до AP 2-5
Координаты образцовой точки по результатам измерений	10,6	13,8	5,0	9,1	5,9	17,8
Модель Фрииса	-58,7	-2,7	6,3	58,3	5,1	114,5
Модель с одним наклоном	7,7	15,9	6,6	11,3	1,5	19,9
Модель со многими стенами	10,0	14,8	8,5	10,3	5,1	16,6
Модель ITU-R P.1238.8	8,1	16,9	8,9	12,7	2,8	19,1

Для оценки погрешности измерений было проведено сравнение координат мобильных объектов, находящихся в образцовых точках с их же координатами, полученными в процессе вычислений методом трилатерации. Результаты статистической обработки экспериментальных данных представлены в виде гистограмм на рис. 2-4 для трех моделей *PPB*.

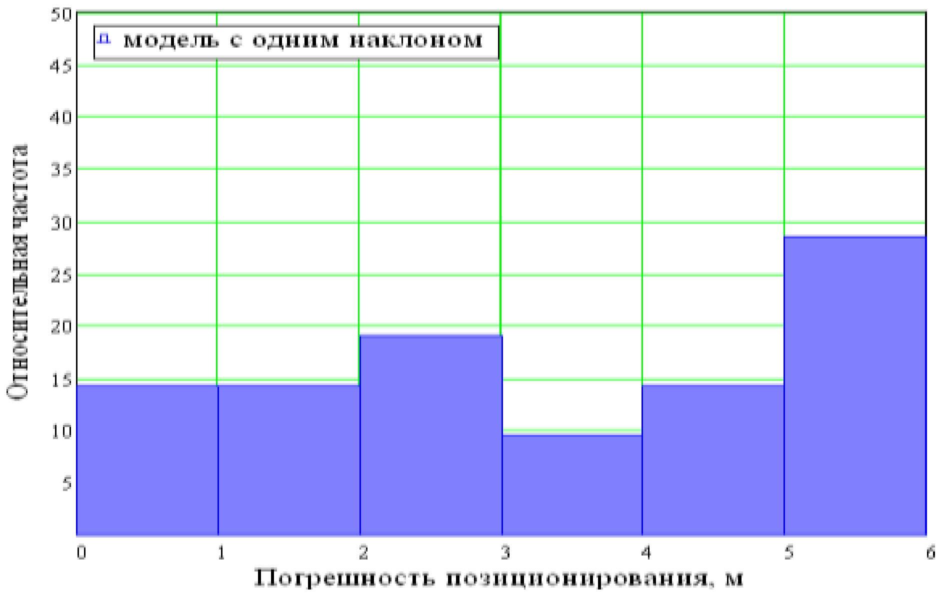

Рисунок 2

Модель с одним наклоном (рис. 2) годится для позиционирования только в некоторых случаях, например, когда между передатчиком и приемником небольшое расстояние и между ними не более одной стены. В большинстве случаев погрешность измерений превышает допустимые значения (5 м).

Модель со многими стенами (рис. 3) подходит для вычисления расстояний от точки доступа до клиента в большинстве случаев, т.к. погрешность измерений в 70 % опытов составляет не более 2 м, а превышает допустимые значения в менее чем 10 % случаев. На рис. 2 изображена гистограмма распределения погрешности определения местоположения по модели с одним наклоном.

На рис. 3 изображена гистограмма распределения погрешности определения местоположения по модели со многими стенами.

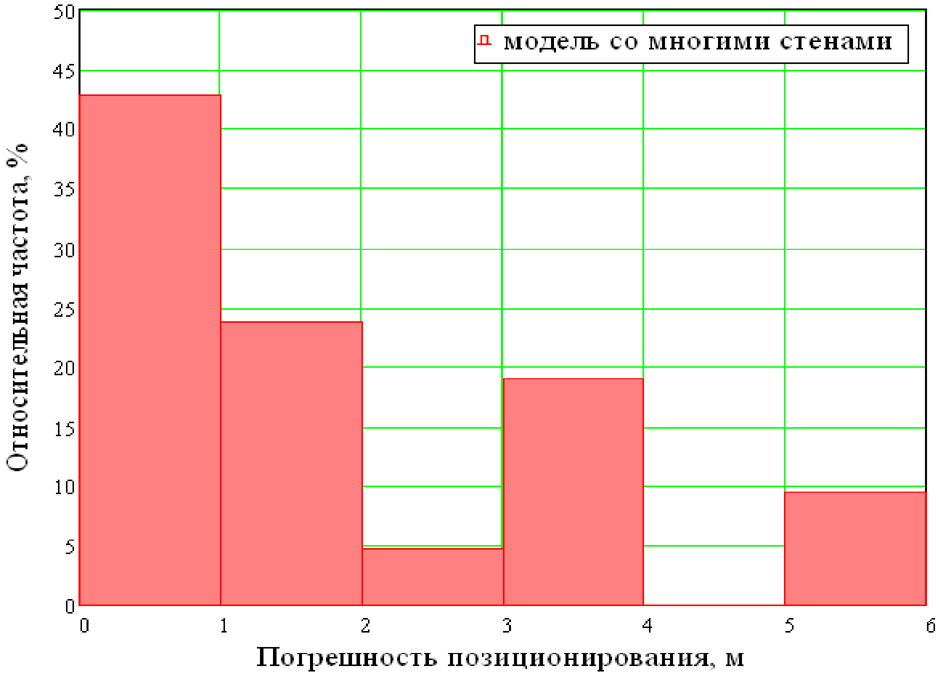

Рисунок 3

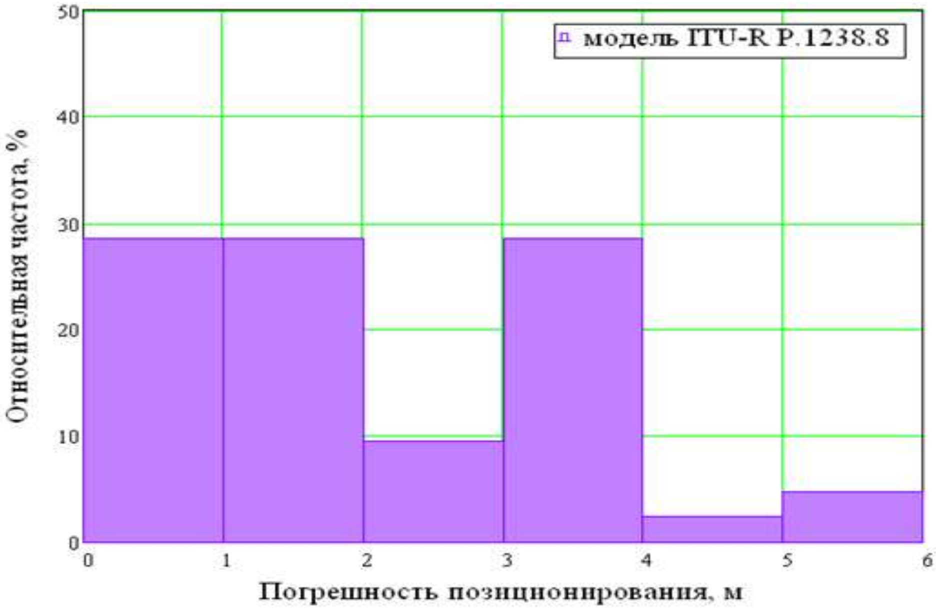

Рисунок 4

Модель, рекомендованная Международным союзом электросвязи (*ITU-R P*.1238.8), показывает худшие результаты, чем модель со многими стенами, но имеет меньший по сравнению с ней процент неудачных опытов (погрешность более

5 м).

На рис. 4 изображена гистограмма распределения погрешности определения местоположения по модели *ITU-R P*.1238.8.

Сравнение экспериментальной оценки погрешности определения местоположения объекта с помощью трех моделей *PPB* показывает, что в большинстве случаев наиболее подходящей является модель со многими стенами, хотя нельзя полностью отвергать модель *ITU-R P*.1238.8.

Заключение

Таким образом, для реализации системы локального позиционирования была построена экспериментальная сеть, основанная на оборудовании стандарта *IEEE* 802.11*ac* российского производителя *Eltex.*

Натурные испытания в экспериментальной сети показали основные проблемы, связанные, во-первых, с размещением точек доступа и, во-вторых, с выбором модели распространения радиоволн для определения координат объекта методом трилатерации.

Наиболее подходящей для целей позиционирования была признана модель со многими стенами (*COST* 231), которая и будет использоваться в дальнейших исследованиях.

Литература

1. Глобальная навигационная спутниковая система GPS // Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. URL: https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/gps.php (дата обращения: 10.08.2021).
2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС // Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. URL: https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/glonass.php (дата обращения: 11.08.2021).
3. Костюкович А.Е., Кокорева Е.В., Якушев И.Ю., Зубкова Н.О., Дощинский И.В. Исследование и разработка системы определения мест // Отчет о НИР. – № 084-00003-19-00 от 27.12.2018 (Федеральное агентство связи), 2019. – 109 с.
4. Bensky A., Wireless Positioning Technologies and Applications. 2nd Ed. Boston. London: Artech House, 2016. – 450 p.
5. Кокорева Е.В., Костюкович А.Е., Дощинский И.В. Система геопозиционирования на основе RFID-меток // Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом: сборник материалов (тезисов) 46-й международной конференции. – М.: АО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий», 2020. – С. 13-16.
6. Дощинский И.В. Программа определения местонахождения абонента методом дифференциации пространственных образцов в сети WI-FI // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020611216, 27.01.2020. Заявка № 2019666051 от 04.12.2019.
7. Шурыгина К.И., Кокорева Е.В. Программа измерения уровня сигнала, принимаемого абонентским устройством в сети WI-FI, для определения

местоположения абонента // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021611439, 28.01.2021. Заявка № 2021610057 от 11.01.2021.
8. Обнаружение и решение проблемы радиочастотных помех датчикам спутниковой службы исследования Земли (пассивной) // Рекомендация МСЭ-R RS.2106-0 / Международный союз электросвязи, 2017. – 22 с.
9. Indoor Propagation Models // COST Action 231: Digital mobile radio towards future generation systems: Final report, 1999. – pp. 175-189.
10. ITU-R P.1238-7 Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radio communication systems and the radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz. Geneva: ITU-R Recommendations, 2015. – 28 p.
11. Kokoreva E.V., Kostyukovich A.E., Doshchinsky I.V. and Shurygina K.I. A combined location method with indoor signal strength measurement // 1st International Conference Problems of Informatics. Electronics and Radio Engineering PIERE-2020. Novosibirsk, 2020. – pp. 281-286.