

УДК 004.021

## Разработка системы позиционирования и контроля объектов с помощью беспроводной технологии Wi-Fi\*

И.Ю. КУЧИН<sup>1</sup>, Ш.Ш. ИКСАНОВ<sup>2</sup>, С.К. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ<sup>3</sup>,  
А.Н. КОРЯКОВ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, Астраханский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент. E-mail: ivankuchin2010@gmail.com

<sup>2</sup> 414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, Астраханский государственный технический университет, аспирант. E-mail: astu.org@bk.ru

<sup>3</sup> 414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, Астраханский государственный технический университет, студент. E-mail: knight\_92.92@mail.ru

<sup>4</sup> 414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, Астраханский государственный технический университет, аспирант. E-mail: nimaxwolf@gmail.com

Работа содержит обзор алгоритмов локального позиционирования (позиционирования внутри помещений) на основе стандарта беспроводной связи Wi-Fi, в которых в качестве единственного источника информации о местонахождении агента выступает мощность сигнала, принимаемого мобильным устройством от точек доступа сети Wi-Fi. Приводятся основные характеристики методов анализа позиционно-зависимой информации: метод позиционирования по углу прихода сигнала, по уровню мощности принимаемого сигнала, по времени приема сигнала. Произведен сравнительный анализ рассматриваемых алгоритмов и варианты их реализации. В результате ознакомления с наиболее содержательными работами отечественных и зарубежных ученых по проблеме локального позиционирования были выявлены основные достоинства и недостатки каждой из предложенных методик позиционирования, произведено обобщение недостатков и сделан вывод об оптимальности использования метода определения местоположения мобильного объекта по уровню принимаемого от него сигнала (на основе радиокарты). Данный метод был реализован с применением двух подходов: детерминистского и вероятностного. Авторами формализована задача локальной идентификации по технологии Wi-Fi; сформулированы требования к программно-аппаратному комплексу, осуществляющему локальное позиционирование по технологии Wi-Fi; реализован полностью рабочий прототип автоматизированной системы локальной идентификации. Разработанный прототип был использован для проведения серии экспериментов по определению местоположения и построению маршрута движения мобильного объекта. Практические результаты работы подтвердили недостаточную изученность проблемы позиционирования мобильных объектов у других отечественных и зарубежных авторов. Таким образом, статья поднимает целый ряд научных и технических проблем, требующих более детальной проработки.

---

\* Статья получена 28 мая 2015 г.

**Ключевые слова:** локальное позиционирование, идентификация, беспроводные сети Wi-Fi, мощность сигнала, анонимность, радиокарта, метод позиционирования по углу прихода сигнала, метод позиционирования по уровню принимаемого сигнала, метод позиционирования по времени приема сигнала, автоматизированная система определения маршрута движения объекта, прослушивание радиоэфира, анализ сетевого трафика

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-3-130-146

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует множество технических решений задачи определения местоположения физического объекта в пространстве [1–5], которые объединяются под единым термином – системы позиционирования. Все системы позиционирования можно разделить на два класса: глобальные системы позиционирования и локальные, работающие на ограниченной территории.

В последнее десятилетие широкое распространение получили системы глобального позиционирования, такие как GSM, GPS и ГЛОНАСС. К их основным преимуществам можно отнести большую площадь позиционирования (определения местоположения на открытой местности) и достаточно высокую точность (до 2 метров – системы GPS и ГЛОНАСС, до 150 метров – системы GSM) [1].

Однако недостатки, имеющиеся в перечисленных технологиях, не позволяют каждой из них стать универсальной системой для поиска объекта в произвольной локации. К таким недостаткам относятся:

- закрытость данных (крайне ограниченная возможность их получения от государственных и коммерческих структур, которым принадлежат системы);
- слабый сигнал приема систем глобального позиционирования внутри зданий и сооружений (торговые центры, подземные парковки, метро и т. п.) в связи с низким уровнем помехоустойчивости.

Указанные недостатки отсутствуют в системах локального позиционирования (LPS – Local Positioning Systems), а преимущества становятся очевидными в случае необходимости построения систем локации и связи в пределах ограниченной территории (в закрытых помещениях с железобетонными перегородками, тоннелях, подвалах, шахтах, – там, где нет возможности для прямого беспрепятственного распространения радиосигнала), но с высокой точностью, порядка 1-2 метров [2].

Под системой позиционирования в настоящей работе понимается автоматизированная система, обеспечивающая позиционирование объекта в локальной системе координат с отображением его позиции на плане контролируемой территории, оснащенной необходимой инфраструктурой.

При проектировании систем локального позиционирования объекта можно выделить два подхода:

- система строится на основе необходимого дополнительного оборудования;
- система опирается на элементы существующей инфраструктуры, основной задачей которой не является позиционирование.

Методы первой группы требуют развертывания на территории, на которой предполагается осуществлять позиционирование объектов, отдельной

сети приемопередатчиков, осуществляющих связь с носимыми объектами портативными метками или их аналогами.

Более рациональным является использование для позиционирования уже существующего оборудования, именно поэтому в последнее время широкое распространение получили системы позиционирования объектов на основе беспроводной сети Wi-Fi, основной задачей которой является обеспечение передачи данных.

Передача данных осуществляется с помощью радиосигналов, частоты которых зависят от стандарта беспроводной сети. Каждый сигнал несет позиционно зависимую информацию, которую возможно использовать для оценки местоположения объекта.

В последние годы системы локального позиционирования нашли применение в самых разных отраслях и сферах деятельности:

- на промышленных предприятиях для оптимизации работы складов [2];
- на роботизированном производстве, в крупных медицинских учреждениях [3];
- в роли навигационной системы по торговым центрам и промышленным предприятиям [1, 6, 7];
- в маркетинговых исследованиях на основе информации о перемещениях пользователя для более точного анализа рыночной корзины [4].

Помимо этого, системы позиционирования могут найти широкое применение и в сфере безопасности: анализ трафика публичной сети Wi-Fi на предмет наличия в нем противоправной информации (террористическая пропаганда, антиправительственные лозунги, организация несанкционированных митингов и т. п.) вместе с возможностью отслеживания источника его возникновения.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является разработка программно-аппаратного комплекса локального позиционирования объектов, использующих Wi-Fi технологию в реальном времени. Определены следующие задачи для достижения поставленной цели:

- обзор и сравнение различных методик идентификации в сетях Wi-Fi;
- формализация задачи локальной идентификации по технологии Wi-Fi и формирование требований к программно-аппаратному комплексу, осуществляющему локальное позиционирование по технологии Wi-Fi;
- реализация полностью рабочего прототипа автоматизированной системы локальной идентификации.

## 2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

В зависимости, прежде всего, от технических возможностей оборудования, используемого для развертывания сетей Wi-Fi, применяется один из следующих (рис. 1) или комбинация вариантов анализа позиционно зависимой информации:

- по углу прихода сигнала (angle of arrival – AOA) – рис. 1, а;

- с помощью уровня (мощности) принимаемого сигнала (received signal strength – RSS) – рис. 1, б;
- основываясь на времени приема сигнала (time of arrival – TOA) – рис. 1, в.

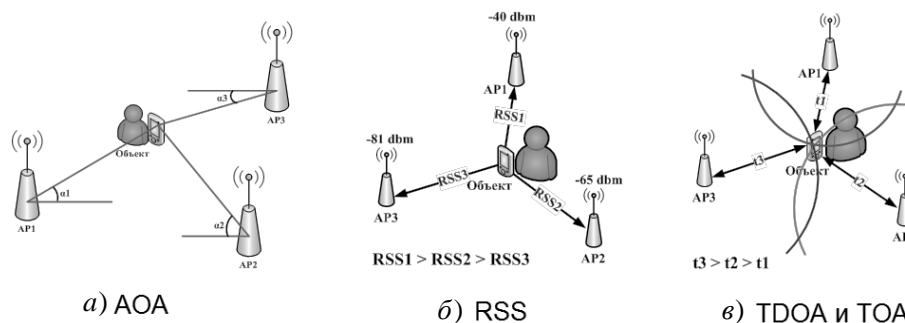


Рис. 1. Типы систем позиционирования

В системах АОА 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.

Методы TOA и TDOA основаны на измерении времени распространения сигнала от передатчика до приемника так, чтобы на его основе можно было рассчитать расстояние между передатчиком и приемником. Время распространения вычисляется как разность времен отправки сигнала передатчиком и приема сигнала приемником, для чего требуется очень точная синхронизация часов отправителя и получателя.

### 3. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ опубликованных результатов работ отечественных и зарубежных исследователей по данному направлению [8–13] показал, что подавляющее большинство из них отдает предпочтение методу позиционирования на основе RSS. Выбор указанного метода, очевидно, связан с тем, что он является наиболее простым в реализации, когда достигаются приемлемые показатели точности (до трех метров).

Работы отечественных авторов в большинстве случаев носят описательно-сравнительный, аналитический характер. В публикации [14] рассмотрена возможность локального позиционирования в беспроводных сетях на основе мощности принимаемого объектом сигнала, приведено математическое описание процедуры перевода мощности принимаемого сигнала в величину расстояния между источником и приемником сигнала, однако не представлена готовая методика позиционирования объекта, а также не приведены результаты экспериментов, которые могли бы эмпирически подтвердить ее состоятельность.

В диссертации отечественного автора В.А. Маслова [10] разработаны методики и алгоритмы решения задач обнаружения, идентификации, позиционирования объектов относительно источников радиосигнала в беспроводных сетях с привязкой к координатам GPS/ГЛОНАСС. Автором планируется

практическое внедрение наработок с целью организации дифференцированного доступа к информационным ресурсам в диспетчерских системах для контроля инженерных коммуникаций. Следует отметить, что в исследовании был предусмотрен ряд упрощений, которые вносят существенное влияние на точность позиционирования. Например, не учитывается влияние различных моделей устройств и точек доступа на мощность принимаемого сигнала. Более того, ни в одной из рассмотренных работ отечественных и зарубежных исследователей не было отмечено, что точка доступа может работать в одном из двух режимов: либо только перехватывать сетевые пакеты, передаваемые по беспроводной сети («слушать эфир»), либо принимать и передавать пакеты для организации обмена информацией с какой-либо сетью, как правило сетью Интернет. Данное замечание является важным с практической точки зрения, поскольку, добившись от точки доступа возможности работать в обоих режимах, удастся совместить функционал позиционирования и обеспечения обмена пакетами с внешними сетями. Это, в свою очередь, позволит расширить область применения беспроводного позиционирования без увеличения затрат на приобретение дополнительного оборудования.

В иностранной литературе рассматриваемой тематике посвящено значительно большее число публикаций, и в целом данное направление исследуется с применением более систематизированного и фундаментального подхода [8, 9].

В работе [8] выдвинуто предложение использовать в экспериментах точки доступа, имеющие направленные антенны, которые могут оценить направление сигнала, поступающего как от других точек доступа, так и от объектов позиционирования. Показано, что даже при невысокой точности измерений и небольшом количестве точек доступа предложенный подход на основе измерения угла прихода сигнала может достичь приемлемой точности (около 4-5 метров). Дальнейшее развитие работы не нашло отражения в научных публикациях авторов, а полученные погрешности хоть и являются приемлемыми для определения положения объекта, но не позволяют строить правдоподобный маршрут движущегося объекта.

В другой работе [9] предложен гибридный метод по определению положения объекта, реализуемый в два этапа:

1) на основании измерения мощности сигнала определяется приблизительный набор координат, где может располагаться объект; полученные данные передаются для анализа на следующий этап метода;

2) с помощью портативной камеры, зафиксированной на объекте позиционирования, делаются снимки помещения и отсылаются на сервер обработки данных, где производится сравнение признаков полученного «образа» с признаками эталонов, занесенных в базу данных.

Практические результаты, описанные в статье, позволяют сделать вывод, что данный метод может значительно снизить вероятность ошибки идентификации, однако он имеет несколько недостатков:

1) необходимо собрать базу данных образов изображений помещения, в котором планируется осуществлять позиционирование объекта;

2) необходимо наличие у каждого объекта позиционирования портативной камеры, которая позволит собирать и отправлять образы изображений на сервер обработки данных;

3) данное решение не является универсальным в связи с необходимостью сбора образов изображений при позиционировании в новом помещении.

Таким образом, проведенный обзор литературы позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на многолетние исследования, проблема беспроводного позиционирования в пространстве все еще носит открытый характер, особенно в части практической реализации многочисленных предложенных методик. В настоящее время на рынке отсутствуют доступные системы, позволяющие использовать имеющуюся инфраструктуру сети Wi-Fi для решения задачи позиционирования на локальном объекте (например, в торговом центре, конференц-площадке, кампусе).

#### 4. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ЛОКАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Основную задачу, для решения которой проектируется автоматизированная система позиционирования, можно в формализованном виде представить следующим образом. Имеется объект позиционирования  $O$  – мобильное устройство, снабженное wi-fi адаптером, причем к  $O$  предъявляется единственное требование – wi-fi адаптер должен быть активен (не обязательно подключен к сети). В пределах некоторой заранее определенной зоны  $Z$  (локальная система координат на плоскости) развернута инфраструктура wi-fi, представляющая собой совокупность точек доступа  $AP_i$ ,  $i:1..n$ , где  $n$  – количество точек доступа, при чем в любой точке  $Z$  величина отношения «сигнал/шум» для каждой из  $AP_i$ ,  $i:1..n$  больше единицы. Параметры объекта позиционирования  $O$  (модель устройства, производитель, MAC-адрес, технические характеристики) заранее не известны, равно как и время и/или траектория появления и движения на плоскости  $Z$ .  $AP_i(x, y)$  – координаты  $i$ -й точки доступа в локальной системе координат неизменны и заранее известны. Основная задача автоматизированной системы позиционирования – выдавать в режиме реального времени (с предопределенным интервалом времени  $t$ ) координаты  $O$  в системе координат  $Z$ .

Универсальность автоматизированной системы, которая сможет решить сформулированную выше задачу, заложена в отсутствии ограничений на мобильный объект идентификации – именно такой принцип оправдан современной тенденцией развития беспроводных сетей и рынка мобильных устройств и только при такой постановке задачи подобная система может представлять не только научный, но и коммерческий (прикладной) интерес.

При выборе методов определения местоположения объекта в проектируемой автоматизируемой системе были рассмотрены следующие методы, наиболее часто применяемые на практике:

1) метод идентификации объекта на основе ближайшей точки доступа [14];

2) метод идентификации объекта с помощью модели распространения сигнала [3,15];

3) метод идентификации объекта по радиокarte [16].

Метод (1) прост в реализации и отличается низкой вычислительной сложностью, однако погрешности при его использовании могут достигать дальности трансляции сигнала объектом идентификации (в помещении до

100 метров). Метод (2) требует детального построения модели распространения сигнала для среды распространения радиоволн и для каждой точки доступа, что в конечном счете не гарантирует обеспечения достаточной точности измерений в результате возникновения в помещении таких эффектов, как затухание, отражение и интерференция радиоволн. Моделирование эффектов такого рода для произвольной зоны идентификации представляется сложной вычислительной задачей. Алгоритм приемлем к использованию при глобальной идентификации в GPS/ГЛОНАСС и сотовых сетях, где не столь значительно проявляется влияние помех на позиционно зависимые параметры сигнала.

Метод (3) обеспечивает определение местоположения абонента даже в условиях сложной помеховой обстановки в связи с использованием базы данных измерений мощности передаваемого сигнала, предварительно выполненных в определенных точках пространства (точки калибровки).

В настоящем исследовании в качестве базового метода позиционирования объекта выбран метод идентификации по радиокarte, который, в свою очередь, может быть реализован с применением двух подходов: детерминистского [18] и вероятностного [17].

Для проведения экспериментов была выбрана зона идентификации, в роли которой выступило закрытое помещение с размерами сторон 18 метров и 12 метров. В трех углах помещения в заранее определенных координаторах были установлены wi-fi роутеры, функционирующие в режиме прослушивания эфира.

Согласно [17, 18], метод идентификации объекта по радиокarte состоит из двух этапов: калибровки и определения местоположения. В результате калибровки выбранного помещения была полученная радиокarte, изображенная на рис. 2. В каждой точке калибровки в децибелах указаны средние значения мощности сигнала от соответствующих роутеров – Router1, Router2, Router3.

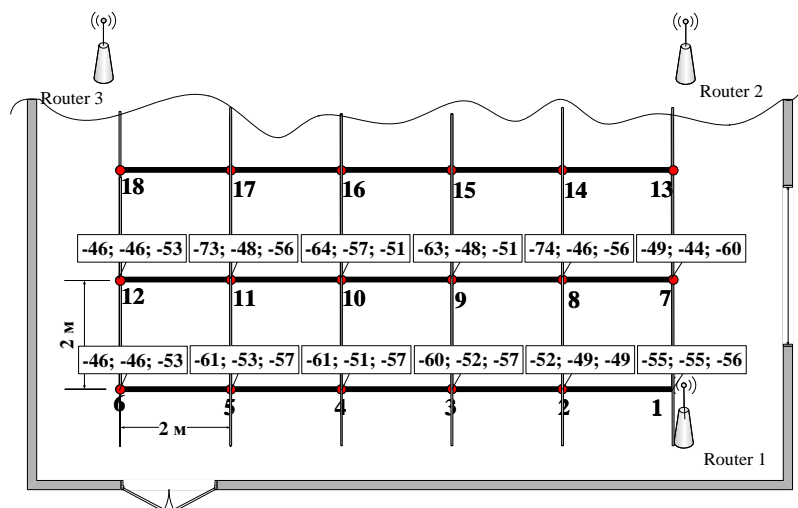


Рис. 2. Часть радиокарты помещения

## 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

С помощью полученной радиокарты была проведена серия экспериментов, каждый из которых будет рассмотрен далее.

*Эксперимент 1. Определение зависимости модели адаптера на результаты локального позиционирования*

Для определения мощности сигнала различных мобильных устройств в качестве экспериментальных образцов было выбрано пять устройств с WLAN-интерфейсами: ноутбук, нетбук, два смартфона и планшет. Для выбранных устройств были произведены замеры мощности принимаемого от них сигнала в одних и тех же точках радиокарты. Зависимость принимаемой мощности сигнала от расстояния для смартфонов Samsung Galaxy S2 и Lenovo IS2500 представлена на рис. 3 (количество устройств, отображаемых на графике, уменьшено до двух в целях обеспечения читабельности и легкости восприятия). Линии тренда для различных устройств неодинаковы, что может значительно влиять на погрешности при позиционировании и определении местоположения объекта на карте. Схожие результаты были получены в исследовании [19].

В связи с тем, что программно изменить мощность излучения wi-fi сигнала возможно только на уровне разработчика мобильного устройства, эта опция не является доступной для рядового пользователя. Изображенные на рис. 5 линии тренда для двух устройств формируют «диапазон», в который «укладываются» значения мощности сигналов всех остальных устройств, принимавших участие в эксперименте.

Проведенный эксперимент подтвердил влияние модели беспроводного адаптера как минимум на одну позиционно зависимую характеристику сигнала – мощность. В связи с этим целесообразным является условное установление определенного диапазона мощности сигнала (возможно, полученного эмпирическим путем), который будет являться универсальным для всех мобильных устройств в данных условиях решения задачи позиционирования при создании автоматизированной системы позиционирования.

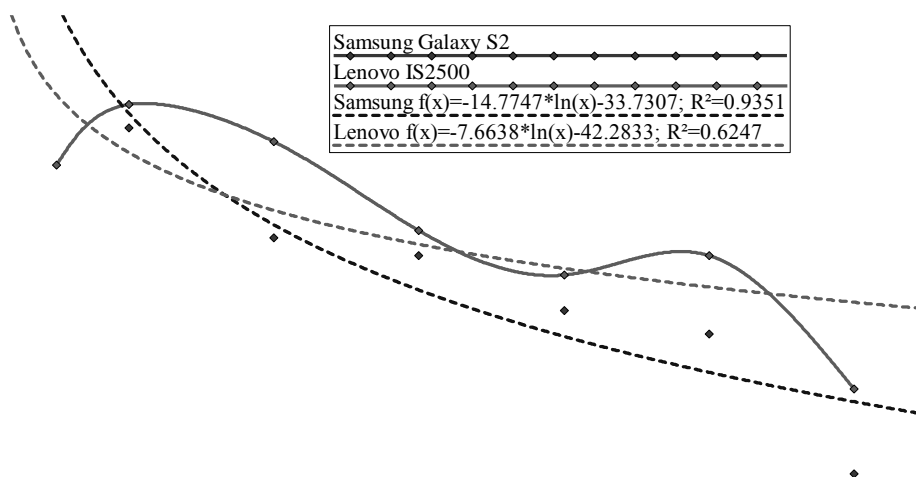


Рис. 3. Зависимость RSSI(r) для двух разных мобильных устройств



*Эксперимент 2. Определение зависимости результатов позиционирования от конкретного экземпляра точки доступа wi-fi одной и той же модели*

Для развертывания системы позиционирования недостаточно использование одной точки доступа, поэтому возникает проблема синхронного измерения мощности принимаемого сигнала от нескольких точек доступа. Был проведен эксперимент по измерению мощности сигнала wi-fi одного и того же мобильного устройства двумя точками доступа аналогичной модели. Результаты измерений представлены на рис. 4. Построенные линии трендов позволяют сделать вывод о возможности пренебречь разницей в чувствительности идентичных точек доступа при проведении замеров.

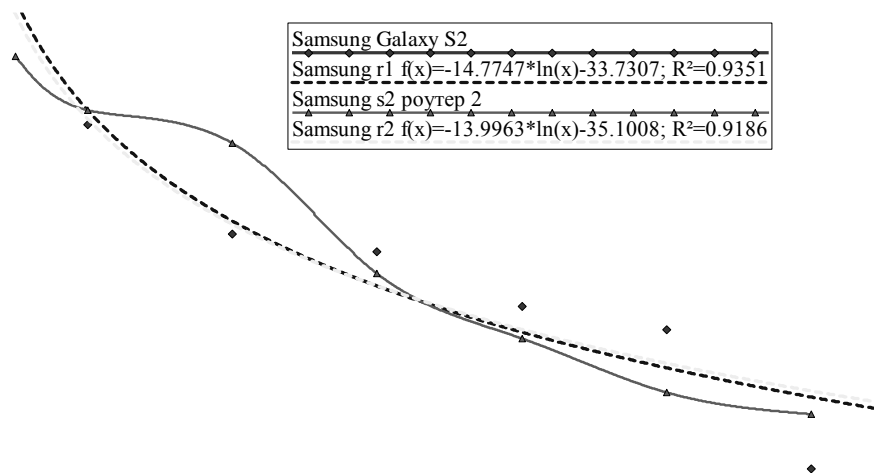


Рис. 4. Уровень принимаемого сигнала для двух точек доступа

*Эксперимент 3. Определение оптимального времени калибровки*

На этапе калибровки для определения наиболее оптимального интервала времени, необходимого для измерения точной мощности принимаемого сигнала, было посчитано среднее отклонение средних значений мощности сигнала на интервале от эталонной модели зависимости мощности сигнала от расстояния (табл. 1).

Таблица 1

**Среднее отклонение**

Расстояние между приемником и передатчиком сигнала (метры), $x$	$F(x)$	Средние значения мощности сигнала на интервале (dBm)			
		20 с	40 с	60 с	90 с
4	-54	-56	-55	-55	-55
5	-57,7	-55	-54	-56	-55
6	-60	-67	-61	-61	-60
7	-62,5	-64	-63	-63	-62

Окончание табл. 1

Расстояние между приемником и передатчиком сигнала (метры), $x$	$F(x)$	Средние значения мощности сигнала на интервале (dBi)			
		20 с	40 с	60 с	90 с
8	-64,5	-60	-61	-63	-63
9	-66	-64	-59	-64	-65
10	-67,7	-68	-65	-68	-68
11	-69	-67	-70	-70	-70
12	-70,5	-68	-72	-73	-73
<b>Среднее отклонение</b>		2,7	2,4	1,3	1,2

Основываясь на полученных результатах среднего отклонения, оптимальное время калибровки, в течение которого возможно получить приемлемый по достоверности уровень мощности сигнала, составляет 60 секунд. Все дальнейшие измерения мощности сигнала осуществлялись в течение указанного интервала времени.

## 6. РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

С целью автоматизации процесса позиционирования – обеспечения возможности загрузки плана помещения, обработки калибровочных данных, сбора информации о мощности получаемого сигнала и построения маршрута движения объекта – было разработано программное обеспечение (далее – система).

На рис. 5 представлена контекстная диаграмма системы, основанной на подходе определения местоположения объекта по радиокarte. В данной диаграмме в качестве исходной информации, на основе которой строится система позиционирования, выступает план территории и MAC – адрес идентифицируемых мобильных устройств.

Результатом работы системы является определение маршрута движения объекта. После построения контекстная диаграмма детализируется с помощью диаграммы декомпозиции первого уровня (далее DF-диаграмма). При построении DF-диаграммы исходная декомпозируемая система разбивается на четыре составляющие. DF-диаграмма для рассматриваемой задачи приведена на рис. 6.

Очередность выполнения этапов для решения рассматриваемой задачи следующая:

- составление радиокарты;
- получение значений RSS от точек доступа;
- анализ полученных значений RSS и значений точек калибровки;
- отображение точками объекта на плане.

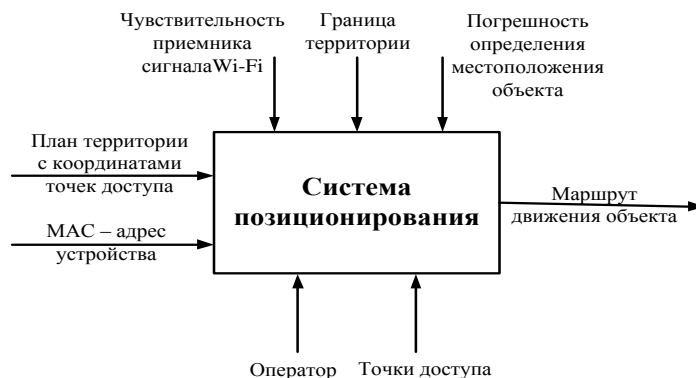


Рис. 5. Контекстная диаграмма «Система позиционирования»

В результате выполнения блока «Составление радиокарты» получаем совокупность точек калибровки, размещенных на указанном плане и содержащих значения мощности сигнала объекта позиционирования, полученные роутерами.

Результатом работы блока «Получение значений RSS от точек доступа» является множество значений мощности сигнала указанного объекта.

Блок «Анализ полученных значений RSS и значений точек калибровки» предназначен для получения координат движения объекта, которые в режиме реального времени отображаются на плане территории и/или сохраняются в базу данных для последующего анализа.

Результатом работы блока «Отображение точками объекта на плане» является маршрут движения объекта, прокладываемый на карте как в режиме реального времени, так и за интересующий оператора промежуток времени.

С использованием разработанного программно-аппаратного комплекса, в состав которого вошло программное обеспечение и три идентичные точки доступа, была составлена радиокарта (см. рис. 2) и проведены эксперименты по определению маршрутов движения объектов. В качестве мобильного устройства использовался мобильный телефон Samsung Galaxy S2 в режиме точки доступа, способный постоянно посылать широковещательные пакеты с помощью wi-fi сигнала.



Рис. 6. DF-диаграмма

На рис. 7 крупной пунктирной линией обозначен реальный маршрут движения объекта. Замеры мощности сигнала мобильного устройства проводились в течение времени, равного 5 секундам, достаточного для определения мощности сигнала объекта с учетом нормализации сигнала в точках калибровки № 4, 10, 16, 22, 28, 34, 40, 46, 52. К полученным значениям было применено два подхода вычисления координат объекта: детерминистский и вероятностный. Мелкой пунктирной линией обозначен маршрут движения, полученный с помощью детерминистского подхода, сплошной линией – вероятностного.

Абсолютные отклонения от реального маршрута представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Отклонения от реального маршрута**

Отклонение от реального маршрута в заранее заданных точках калибровки, м										Среднее отклонение, м
Точки калибровки, №	4	10	16	22	28	34	40	46	52	
Евклидово расстояние	1,8	2,2	2,4	2,5	2,3	2,4	2,1	2,2	3,8	2,4
Вероятностное распределение Байеса	0	1,2	2,2	0,4	1,6	1,8	0,3	1,9	1,4	1,04

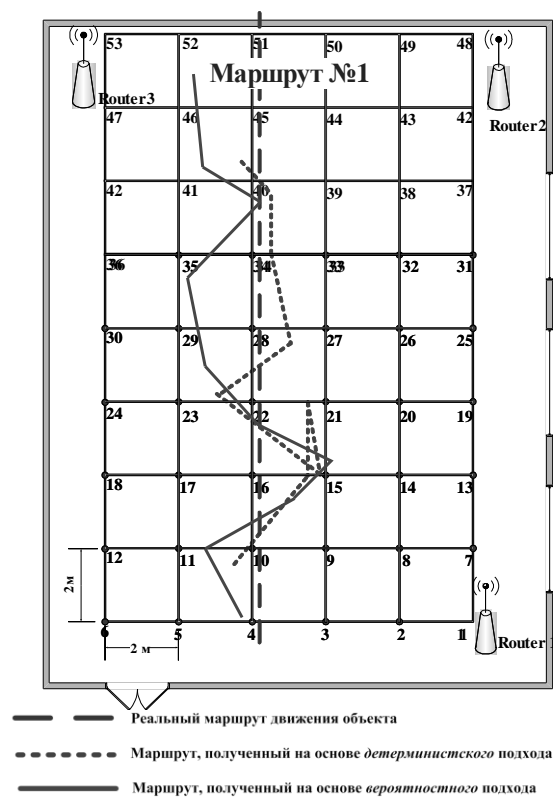


Рис. 7. Определение маршрута движения объекта

Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод о применимости обоих подходов для решения локальной задачи позиционирования объекта. Точность определения объекта позиционирования на плоскости с помощью радиокарты не превышает 2,5 метров, что сопоставимо с рыночными системами позиционирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе впервые формализована задача локальной идентификации по технологии wi-fi с учетом реальных требований, которые могут быть предъявлены в случае коммерческого использования.

Для создания первого полностью функционального прототипа системы авторы пошли на следующее упрощение: выбран ограниченный диапазон возможной мощности сигнала мобильного устройства на основании данных пяти различных производителей. Очевидно, что данный вопрос требует дальнейшего изучения для получения корректных координат при отслеживании мобильного устройства произвольного производителя.

Предложенная формализация задачи локальной идентификации по технологии wi-fi поднимает целый ряд научных и технических задач, требующих следующих решений:

- совмещения функционала точки доступа wi-fi для одновременного позиционирования объекта и обеспечения обмена пакетами с внешними сетями;
- совмещения методов идентификации AOA, TOA и RSS для повышения точности без искусственного удорожания беспроводной инфраструктуры;
- выбора оптимального варианта размещения точек доступа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bahl P., Padmanabhan V.* RADAR: An In-building RF-based user location and tracking system // Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, Tel-Aviv, Israel, March 2000. – Tel-Aviv: IEEE, 2000. – Vol. 2. – P. 775–784.
2. A friis-based calibrated model for Wi-Fi terminals positioning / F.A. Lassabe, P. Canalda, P. Chatonnay, F. Spies, O. Baala // Proceedings of Sixth IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. WoWMoM 2005, Giardini Naxos, Italy, 13–16 June 2005. – Los Alamitos, California: IEEE, 2005. – P. 382–387.
3. *Kupper A.* Location-based services. – Chichester, England; Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2005. – 365 p.
4. *Пан К.С., Цымблер М.Л.* Параллельный алгоритм решения задачи анализа рыночной корзины на процессорах Cell // Вестник ЮУрГУ. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2010. – № 16 (192). – С. 48–57.
5. *Попов Г.А., Белов С.В.* Некоторые задачи формализации процесса анализа физической защиты объекта информации // Новые информационные технологии в региональной инфраструктуре и образовании, НИТРО–2001: материалы четвертой международной научно-методической конференции, Астрахань, 24–29 сентября 2001 г. – Астрахань: АГТУ, 2001. – С. 59–62.
6. *Bensky A.* Wireless positioning technologies and applications. – Boston, Massachusetts: Artech House, 2008. – 305 p.
7. *Аникин А.В.* Определение местоположения мобильного объекта с помощью приемопередатчиков nanoLOC фирмы Nanotron // Беспроводные технологии. – 2007. – № 3. – С. 38–41.
8. *Rong P., Sichitiu M.L.* Angle of arrival localization for wireless sensor networks // 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks:

Secon'06, Reston, Virginia, USA, 25–28 September 2006. – Piscataway, New Jersey: IEEE, 2006. – Vol. 1. – P. 374–382.

9. A hybrid method for indoor user localization / M. Redzic, C. O'Conaire, C. Brennan, N. O'Connor // Adjunct Proceedings of the 4th European Conference on Smart Sensing and Context, EuroSSC 2009, Guildford, United Kingdom, 16–18 September 2009. – Guildford: [s. n.]. – P. 25–28.

10. Маслов В.А. Модели и алгоритмы идентификации и позиционирования мобильных средств связи в системах поддержки принятия решений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2011. – 20 с.

11. Исследование возможности локального позиционирования в беспроводных сетях IEEE 802.15.4 / А.В. Поникар, О.В. Евсеев, В.Е. Анциперов, Г.К. Мансуров // Материалы IV Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 29 ноября – 3 декабря 2010 г. – М., 2010. – С. 914–918.

12. Квятковская И.Ю., Фам К.Х. Система показателей оценки качества телекоммуникационных услуг и метод их оценки // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 2. – С. 98–103.

13. Лосев Н.Н., Дмитриев В.Н. Анализ производительности протоколов уровня доступа к среде в беспроводных локальных сетях // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 126–131.

14. Минахметов Р.М., Рогов А.А., Цымблер М.Л. Обзор алгоритмов локального позиционирования для мобильных устройств // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2013. – № 2. – С. 83–96.

15. Кучин И.Ю. Защита конфиденциальности персональных данных с помощью обезличивания // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2010. – № 2. – С. 158–162.

16. Курдин В.А., Шаранов А.П. Методы позиционирования абонентов внутри помещений, основанные на радиоотпечатках (location fingerprinting methods) // Вычислительные сети. Теория и практика. – 2012. – № 2 (21). – С. 1–8.

17. A probabilistic approach to WLAN user location estimation / T. Roos, P. Myllymaki, H. Tirri, P. Misikangas, J. Sievanen // International Journal of Wireless Information Networks. – 2002. – N 9. – P. 155–163.

18. Курдин В.А., Шаранов А.П. Определение местонахождения абонента в системе радиодоступа стандарта DECT с помощью методов статистического анализа // Труды XVI Международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии», Москва, 21–23 октября 2008 года: в 3 т. – М., 2008. – Т. 1. – С. 58–61.

19. A comparison of affine region detectors / K. Mikolajczyk, T. Tuytelaars, C. Schmid, A. Zisserman, J. Matas, F. Schaffalitzky, T. Kadir, L. Gool // International Journal of Computer Vision. – 2005. – N 65 (1). – P. 43–72.

*Кучин Иван Юрьевич*, кандидат технических наук, доцент Астраханского государственного технического университета. Основные направления научных исследований: безопасность вычислительных сетей, wi-fi идентификация, Data Mining. Имеет более 10 публикаций. E-mail: ivankuchin2010@gmail.com

*Иксанов Шамиль Шавкетович*, аспирант, ассистент кафедры «Информационная безопасность» Астраханского государственного технического университета. Основные направления научных исследований: клеточные автоматы, wi-fi идентификация. Имеет 3 публикации. E-mail: astu.org@bk.ru

*Рождественский Сергей Константинович*, студент кафедры «Информационная безопасность» Астраханского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – wi-fi идентификация. Не имеет публикаций. E-mail: knight\_92.92@mail.ru

*Коряков Александр Николаевич*, аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Астраханского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – wi-fi идентификация. Не имеет публикаций. E-mail: nimaxwolf@gmail.com

## Development of positioning and object control facilities by using Wi-Fi technologies \*

I.Yu. KUCHIN<sup>1</sup>, Sh.Sh. IKSANOV<sup>2</sup>, S.K. ROZHDESTVENSKIY<sup>3</sup>, A.N. KORYAKOV<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Astrakhan State Technical University, 16, Tatischeva Street, Astrakhan, 414056, Russian Federation, PhD (Eng.). E-mail: ivankuchin2010@gmail.com

<sup>2</sup>Astrakhan State Technical University, 16, Tatischeva Street, Astrakhan, 414056, Russian Federation, postgraduate student. E-mail: astu.org@bk.ru

<sup>3</sup>Astrakhan State Technical University, 16, Tatischeva Street, Astrakhan, 414056, Russian Federation, student. E-mail: knight\_92.92@mail.ru

<sup>4</sup>Astrakhan State Technical University, 16, Tatischeva Street, Astrakhan, 414056, Russian Federation, postgraduate student. E-mail: nimaxwolf@gmail.com

The work provides an overview of local positioning algorithms (indoor positioning) based on the wireless standard Wi-Fi in which the only source of information on the whereabouts of the agent is the power of a signal received from the access points of the Wi-Fi network. The basic characteristics of the methods of analysis of the position-dependent information are presented in the article such as a method of positioning by the angle of arrival, a method of positioning by the received signal strength and a method of positioning by the time of arrival. A comparative analysis of the considered algorithms is made and some ways of their implementation are proposed. Investigations conducted by Russian and foreign researchers on the issue of local positioning revealed the major advantages and disadvantages of each of the proposed methods of positioning. As a result, the authors made an analysis of drawbacks and made a conclusion that an optimal use of the method of the localizing a mobile object was the method of positioning by the received signal strength (based on a radio map). This method was implemented using two approaches, namely, the deterministic and probabilistic approaches. The authors have formalized the Wi-Fi local problem identification technology. They also formulated the requirements to software and hardware systems responsible for the Wi-Fi local positioning technology and fully implemented a working prototype of an automated system for local authentication. The developed prototype was used to conduct a series of experiments to determine the location and construction of the route of a mobile object. The results revealed that Russian and foreign authors needed a more detailed study of the problem of mobile object positioning. Therefore, the article raises a number of scientific and technical issues that require further study.

**Keywords:** indoor localization, identification, Wi-Fi, RSSI, anonymity, radio map, method of positioning by the angle of arrival, method of positioning by the received signal strength, method of positioning by the time of arrival, automated system for determining the route of object movement, listening-in the air, analysis of network traffic

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-3-130-146

## REFERENCES

1. Bahl P., Padmanabhan V. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. *Proceedings of IEEE INFOCOM 2000*, Tel-Aviv, Israel, March 2000, vol. 2, pp. 775–784.
2. Lassabe F.A., Canalda P., Chatonnay P., Spies F., Baala O. A friis-based calibrated model for WiFi terminals positioning. *Proceedings of Sixth IEEE International Symposium on a World of*

---

\* Received 18 May 2015.

*Wireless, Mobile and Multimedia Networks. WoWMoM 2005*, Giardini Naxos, Italy, 13–16 June 2005, pp. 382–387.

3. Kupper A. *Location-based services*. Chichester, England, Hoboken, New Jersey, John Wiley, 2005. 365 p.

4. Pan K.S., Tsymler M.L. Parallel'nyi algoritm resheniya zadachi analiza rynochnoi korziny na protsessorakh Cell [A parallel algorithm for market basket analysis on the cell processor]. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie i programmirovaniye – Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software*, 2010, no. 16 (192), pp. 48–57.

5. Popov G.A., Belov S.V. [Some problems formalizing the process of analyzing the physical protection of the object information]. *Novye informatsionnye tekhnologii v regional'noi infrastrukture i obrazovanii, NITRO–2001: materialy chetvertoi mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii* [New information technologies in regional infrastructure and education, NITRE–2001. Materials of IV international scientific and methodological conference]. Astrakhan, 24–29 September 2001, pp. 59–62.

6. Bensky A. *Wireless positioning technologies and applications*. Boston, Massachusetts, Artech House, 2008. 305 p.

7. Anikin A.V. Opredelenie mestopolozheniya mobil'nogo ob'ekta s pomoshch'yu priemopredatchikov nanoLOC firmy Nanotron [Locating mobile object using transceivers of nanoLOC company Nanotron]. *Besprovodnye tekhnologii – Wireless Technologies*, 2007, no. 3, pp. 38–41.

8. Rong P., Sichitiu M.L. Angle of arrival localization for wireless sensor networks. *3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks: Secon'06*, Reston, Virginia, USA, 25–28 September 2006, vol. 1, pp. 374–382. doi: 10.1109/SAHCN.2006.288442

9. Redzic M., Ó'Conaire C., Brennan C., O'Connor N.E. A hybrid method for indoor user. *Adjunct Proceedings of the 4th European Conference on Smart Sensing and Context: EuroSSC 2009*, Guildford, United Kingdom, 16–18 September 2009, pp. 25–28.

10. Maslov V.A. *Modeli i algoritmy identifikatsii i pozitsionirovaniya mobil'nykh sredstv svyazi v sistemakh podderzhki prinyatiya reshenii*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Models and algorithms for the identification and positioning of mobile communications in the decision support systems. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. Penza, 2011. 20 p.

11. Poniakar A.V., Evseev O.V., Anciperov B.E., Mansurov G.K. [Study the possibility of local positioning in wireless networks IEEE 802.15.4]. *Materialy IV Vserossiiskoi konferentsii "Radiolokatsiya i radiosvyaz"* [Materials of IV All-Russian Conference "Radar and radio"], Moscow, 29 November – 3 December 2010, pp. 914–918.

12. Kvyatkovskaya I.Yu., Pham Q.H. Sistema pokazatelei otsenki kachestva telekommunikatsionnykh uslug i metod ikh otsenki [System of criteria of evaluation of quality of telecommunication services and method of their evaluation]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan state technical university. Series: Management, computer science and informatics*, 2013, no. 2, pp. 98–103.

13. Losev N.N., Dmitriev V.N. Analiz proizvoditel'nosti protokolov urovnya dostupa k srede v besprovodnykh lokal'nykh setyakh [Productivity analysis of protocols of the access level to the medium in wireless local area networks]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan state technical university. Series: Management, computer science and informatics*, 2011, no. 2, pp. 126–131.

14. Miniakhmetov R.M., Rogov A.A., Tsymler M.L. Obzor algoritmov lokal'nogo pozitsionirovaniya dlya mobil'nykh ustroystv [Browse local positioning algorithms for mobile devices]. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika – Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Informatics*, 2013, no. 2, pp. 83–96.

15. Kuchin I.Yu. Zashchita konfidentsial'nosti personal'nykh dannykh s pomoshch'yu obezlichivaniya [Protecting the confidentiality of personal data by means of depersonalization]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan state technical university. Series: Management, computer science and informatics*, 2010, no. 2, pp. 158–162.

16. Kudrin V.A., Sharapov A.P. Metody pozitsionirovaniya abonentov vntri pomeshchenii, osnovannye na radio-otpechatkakh (location fingerprinting methods) [Methods of ranking indoor



subscribers based on radio fingerprints (location fingerprinting methods)]. *Vychislitel'nye seti. Teoriya i praktika – Network-journal. Theory and Practic (BC/NW)*, 2012, no. 2 (21), pp. 1–8.

17. Roos T., Myllymaki P., Tirri H., Misikangas P., Sievanen J. A probabilistic approach to WLAN user location estimation. *International Journal of Wireless Information Networks*, 2002, no. 9, pp. 155–163.

18. Kudrin V.A. Sharapov A.P. [Determining the location of the called party in the DECT radio access system using the methods of statistical analysis]. *Trudy XVI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii “Informatsionnye sredstva i tekhnologii” – Proceedings of the International Scientific Conference “Information resources and technologies”*, Moscow, 21–23 October 2008, vol. 1, pp. 58–61. (In Russian).

19. Mikolajczyk K., Tuytelaars T., Schmid C., Zisserman A., Matas J., Schaffalitzky F., Kadir T., Gool L. A comparison of affine region detectors. *International Journal of Computer Vision*, 2005, no. 65 (1), pp. 43–72. doi: 10.1007/s11263-005-3848-x