

## МЕТОДЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В СЕТЯХ WI-FI

*Р.А. Андреев, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, andreeffrom@mail.ru;*

*С.И. Остроумов, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Ostroumov\_semyon@mail.ru;*

*А.С. Федоров, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, as.fdrv@bk.ru.*

### УДК 621.391

---

**Аннотация.** Целью статьи являлось исследование технологий позиционирования, проведение их сравнительного анализа для выделения наилучшего способа определения местоположения устройств в помещениях и реализация системы выбранной технологии. В результате работы был реализован метод позиционирования в сетях *Wi-Fi* на базе помещений НОЦ «БИС» и проведен анализ полученных данных.

**Ключевые слова:** *Wi-Fi*; позиционирование; точка доступа; трилатерация; расстояние; *RSSI*; местоположение; точность; уровень сигнала; методы.

## METHODS OF POSITIONING IN WI-FI NETWORKS

*Roman Andreev, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;*

*Semyon Ostroumov, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;*

*Andrey Fedorov, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;*

**Annotation.** The purpose of the work was to investigate the positioning technologies, conduct their comparative analysis to identify the best way to determine the location of devices in the premises and implement the system of the chosen technology. Because of the work the method of positioning in *Wi-Fi* networks was implemented on the basis of the premises of the *SEC «WIN»* and the analysis of the results was carried out.

**Keywords:** *Wi-Fi*; positioning; access point; trilateration; distance; *RSSI*; location; accuracy; signal strength; methods.

---

### Введение

В настоящее время существует большое количество технических решений задачи определения местоположения объектов в пространстве, которые объединяются единым термином – системы позиционирования. Все системы позиционирования можно разделить на глобальные системы позиционирования и локальные, работающие на ограниченной территории.

За последнее время получили широкое распространение системы глобального позиционирования, такие как *GSM*, *GPS* и ГЛОНАСС. Их основные

преимущества – это большая площадь позиционирования (определения местоположения на открытой местности) и относительно высокая точность (до 2 м – системы *GPS* и ГЛОНАСС, до 150 м системы *GSM*). К недостаткам можно отнести закрытость данных и слабый сигнал приема внутри помещений из-за низкого уровня помехоустойчивости. Из-за данных недостатков становится невозможным построение системы в произвольной локации.

Вышеперечисленные недостатки отсутствуют у локальных систем позиционирования, а преимущества становятся очевидными в случае необходимости построения систем на ограниченной территории (закрытые помещения с железобетонными перегородками, тоннели, подвалы), которые обладают высокой точностью измерения местоположения [1].

Под системой позиционирования в данной статье понимается система, обеспечивающая позиционирование устройства в локальной системе координат с отображением его местонахождения на плане помещений, оснащенных необходимой инфраструктурой.

В статье рассмотрены все актуальные технологии позиционирования, а также проведено сравнение их с технологией позиционирования в сетях *Wi-Fi*. Выполнен разбор всех методов определения местоположения устройств посредством *Wi-Fi* сетей и отобран оптимальный вариант для реализации системы в помещениях. На основе выбранного метода разработаны алгоритм и лабораторный стенд для тестирования реализованной системы, а также проведен анализ полученных результатов.

## **Технологии позиционирования**

### Система спутниковой навигации

Спутниковая навигация основана на методе беззапросных дальномерных измерений между устройством пользователя и спутником. Имеется в виду, что навигационный сигнал, который отправляется на устройство, включает геоданные о координатах местонахождения спутников. В это же время происходит измерение дальности до навигационных спутников.

Данный метод измерения дальности строится на основании вычисления временных задержек принятого сигнала от спутника по сравнению с сигналом, создаваемым пользовательским устройством. Схема определения местонахождения пользователя с координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$  на основании вышеизложенного метода приведена на рис. 1.

Спутники с помощью цветных линий изображены в окружностях, радиусы которых являются истинными дальностями, то есть расстоянием до устройства. Тусклыми цветными линиями показаны окружности, радиус которых соответствует измеренным дальностям. Истинная дальность не равна измеренной, так как она отлична на величину произведения скорости света на отклонение часов пользователя  $b$ . Другими словами, эта величина равна смещению часов от системного времени. На рис. 1 показано как часы на устройстве спешат по сравнению со временем на навигационном спутнике, из-за этого измеренная дальность меньше истинной.

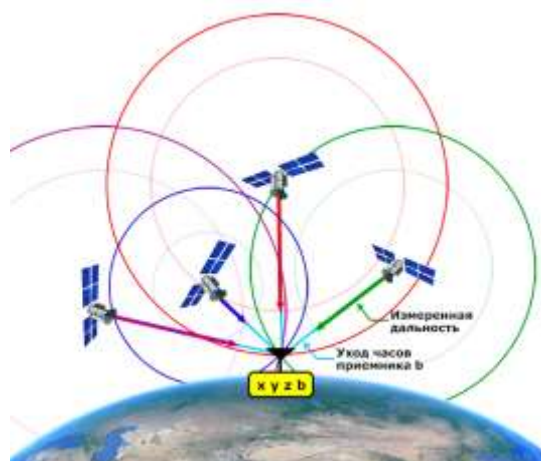


Рисунок 1

Если провести точное измерение с равным временем у пользователя и на навигационном спутнике, то будет достаточно провести измерения, используя всего три спутника. Но в реальных условиях показания часов на устройстве зачастую не совпадают со временем на борту спутника. Следовательно, при определении геопозиции нужно учитывать отклонение между пользовательскими часами и системным временем. Поэтому для нахождения координаты устройства в основном требуется попадание в зону действия не менее, чем четырех навигационных спутников.

Таким образом, из-за низкой точности нам не подходит этот тип позиционирования [2].

#### Bluetooth-позиционирование

Данная технология работает на основе передачи данных по технологии *Bluetooth Low Energy (BLE)*. Передача данных *BLE* по сути является односторонней связью. Далее рассмотрим пример радиомаяков *BLE*, пытающихся установить связь с устройством в непосредственной близости – радиомаяк *Bluetooth* с низким энергопотреблением транслирует пакеты данных через равные промежутки времени. Эти пакеты данных обнаруживаются приложением, предварительно установленным на устройстве, находящимся вблизи. Это сообщение *BLE* запускает такие действия, как отправка ответа или реакция приложения.

К плюсам данной системы можно отнести низкую стоимость *Bluetooth* передатчиков, стоимость плат в среднем находится от 800 до 2500 руб. за ед. Данная система имеет следующие характеристики: низкая стоимость конечной системы, простота установки, относительно высокая точность позиционирования и удобство использования конечным пользователем.

#### Геомагнитное позиционирование

Данный способ базируется на ориентировании по магнитному полю и основывается на геомагнитных аномалиях как показателях для геомагнитного позиционирования.

Основная идея способа заключается в фиксации геомагнитных аномалий и нанесении их на карту объекта, на котором будет происходить позиционирование. В дальнейшем ориентирование производится по составленной карте устройством, в которое встроены магнитометр. Существующий пример реализации – система *IndoorAtlas*.

К недостаткам данного способа можно отнести высокую сложность реализации, а также невысокую точность. Поскольку в зданиях очень много динамически меняющихся магнитных полей, к которым, можно отнести, например, электропроводку самого здания, радиоэлектронные средства посетителей и сотрудников, то позиционирование, основанное на указанном способе, сильно усложняется [3].

#### Позиционирование посредством базовых станций операторов сотовой связи

Реализация системы определения местоположения абонента основана на двух технологиях:

- технологии, которые используют сеть базовых станций сети *GSM* и известные географические координаты на посту наблюдения;
- технологии, которые используют спутниковую навигацию (*GPS*, ГЛОНАСС)

Технологии позиционирования, используемые в *GSM*-сетях, работают на основании трех данных методов:

- Метод интеграции номера соты (*CELLID*) основан на определении координаты устройства по соте, в которой находится. Данная информация может быть передана с помощью *SMS*-сообщения. Точность данного метода позиционирования ограничивается – до 150 м в населенном пункте с тесно расставленными сотами и до 35 км за городом.
- Метод измерения времени прихода (*TOA*) реализован на измерении интервала времени, за который сигналы с устройства абонента достигают трех и более точек, оборудованных модулями, измеряющих положение *LMU*. Вычисление положения пользователя осуществляет центр расчетов положения *MLC*, который отправляет запрос ближайшему к абоненту *LMU* и производится измерение на основе времени приема сигналов в определенных пунктах. Точность определения координаты абонента равняется около 125 м. Минусами данного метода является высокая стоимость дополнительного оборудования, затраты на обслуживание, а также для использования системы требуется высокая плотность сети.
- Метод измерения разности задержки сигнала до трех и более базовых станций (*E-OTD*). В его основе лежит измерение разницы времени прихода сигнала на базовую станцию, в состав которой входит *LMU*, а также в две соты с тем же оборудованием. Вычислением координаты пользователя занимается *MLC*. Метод обеспечивает точность позиционирования до 100 м.

Минусы – невысокая точность (БС может быть удалена на расстояние в 35 км от пользователя + некоторые БС являются мобильными и постоянно меняют свою дислокацию).

#### Геопозиционирование посредством Wi-Fi

Системы позиционирования *Wi-Fi* (*WPS*) используется в случаях, когда нет сигнала *GPS* или позиционирования сотовым оператором из-за блокировки сигнала или сильных помехах в помещении или под землей. Позиционирование *Wi-Fi* основывается на том, что сети *Wi-Fi* быстро растут в количестве, и поэтому инфраструктура *Wi-Fi* может использоваться как для доступа к сети, так и для позиционирования, что снижает потребность в инвестициях в инфраструктуру. Большим преимуществом по сравнению с *GPS* является то, что расположение *Wi-Fi* позволяет определять этаж здания.

Преимущество заключается в том, что пользователю необязательно подключаться к точкам доступа, достаточно включить *Wi-Fi*.

Точность *Wi-Fi*, используемого для внутреннего позиционирования, варьируется от 1 до 15 м – в зависимости от предварительных условий. Большим преимуществом по сравнению с *GPS* является то, что у большинства пользователей модуль *Wi-Fi* включен постоянно и не так сильно расходует заряд батареи [4].

#### **Сравнение технологий**

Проанализировав вышеописанные технологии, можно сделать вывод, что *Wi-Fi* позиционирование обладает большей точностью по сравнению с остальными технологиями. Исключением может быть *Bluetooth*, но для реализации требуется дополнительное оборудование – радио-маячки, когда для системы позиционирования *Wi-Fi* необходимы только точки доступа. Спутниковая навигация и геомагнитное позиционирование уступают *WPS* в плане сложности в эксплуатации и большой погрешности при измерении координат устройства из-за непостоянных факторов, связанных со временем и магнитными аномалиями. *GSM* же сложна в реализации из-за возможно сильной отдаленности базовой станции.

Таким образом, позиционирование в сетях *Wi-Fi* – самое подходящее решение для проектирования системы определения местоположения устройств в помещениях.

#### **Методы позиционирования сетей Wi-Fi**

На данный момент существует несколько актуальных технологий, которые применяются в методах позиционирования сетей *Wi-Fi* [5]. Их разновидности представлены на рис. 2. На основании технических возможностей выбранного оборудования для реализации системы определения местоположения устройства используются следующие варианты или их сочетание для анализа позиционной информации:

- *AOA* (*angle of arrival*) – технология определения координат пользователя по углу падения сигналов на поверхность точек доступа.

- *RSSI (received signal strength indicator)* – технология позволяет определять расстояние до устройства, благодаря уровню (мощности) принимаемого сигнала.
- *TOA (time of arrival)* – технология измерения расстояния до пользователя за счет времени распространения сигнала от устройства до точки доступа.
- *TDOA (time difference of arrival)* – технология позволяет определить расстояние до пользователя, благодаря разности времени прихода сигнала на доступные точки доступа. Технология применяется в системе, в которой находятся три и более точек доступа [6].

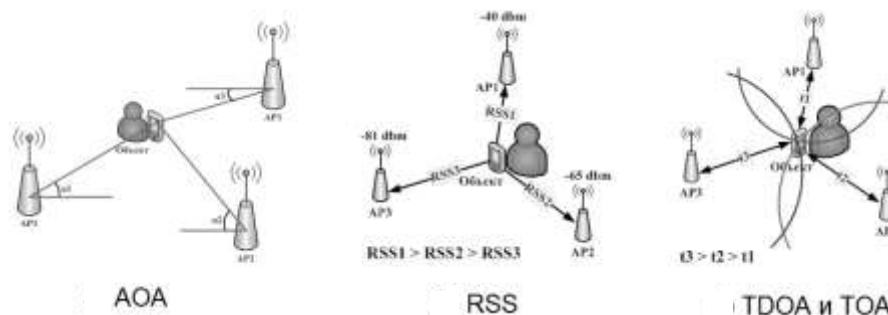


Рисунок 2

Метод позиционирования по точке доступа, к которой подключен пользователь

В основе данного метода позиционирования лежит анализ сигналов от точек доступа, координаты которых уже известны. Суть в том, что устройство замеряет уровни сигналов с рядом стоящими *Wi-Fi* станциями и в зависимости от какого оборудования *Wi-Fi* сигнал поступает с наибольшей мощностью, то и является ближайшим. Когда же определена ближайшая точка доступа, ее координата присваивается устройству. Если же устройство принимает несколько сигналов, имеющих одинаковый уровень, то координатой пользователя является середина между этих *Wi-Fi* станций.

Плюсом данного метода является точность определения местоположения в помещении по сравнению с тем, что предлагает позиционирование в сотовой сети оператора связи или спутниковая навигация (*GPS*, ГЛОНАСС). Но если сравнивать точность с другими методами позиционирования сетей *Wi-Fi*, то здесь уже она будет считаться невысокой.

Недостатками метода является погрешность позиционирования устройств, которая в определенных случаях достигает дальности распределения сигналов от точек доступа, также для корректной работы метода потребуется большое число точек доступа.

Метод распознавания шаблона

Реализация данного метода состоит из четырех этапов:

- создание шаблона;
- получение данных *RSS* от точек доступа;
- анализ данных *RSS* и данных точек калибровки;

- определение местоположения.

Чтобы спроектировать шаблон необходимо нанести на карту радиообстановку помещения. Для этого потребуется произвести трудоемкое и длительное сканирование эфира помещения, в результате которого будут получены уникальные данные. Благодаря им составляется радиокарта помещения, разбитая на квадраты с собственными координатами.

Когда карта полностью спроектирована, создается шаблон в базе данных. Далее вносится пользовательское устройство в помещение, оно сканирует радиообстановку, в результате чего получает информацию о названиях точек доступа и уровень сигнала от них.

Эти данные сверяются с шаблоном в базе данных и, таким образом, определяются координаты устройства в пространстве [7].

Единственным плюсом данного метода является низкая стоимость оборудования. Минусами же является высокая стоимость владения данной системой, сложность в эксплуатации, вызванная постоянным внесением корректировок в шаблоны, которые обычно производятся специалистами, а также, невысокая точность определения местоположения устройства, связанная с влиянием множества факторов.

#### Метод триангуляции

Метод триангуляции заключается в том, чтобы на основании принятого уровня сигнала от устройства на три точки доступа в области пересечения возможной координаты пользователя по отношению от каждой точки позиционирования пользователя.

Для корректной работы системы потребуется разместить точки доступа так, чтобы в каждой точке пространства в помещении пользовательское устройство находилось в области действия трех и более точек доступа, в результате чего будет получено точное позиционирование с минимальной погрешностью.

Существенное влияние на точность определения местоположения пользователя оказывают препятствия на пути распространения сигналов. Статические объекты потребуется смоделировать и учесть их в алгоритме геопозиционирования, а динамические непременно снизят точность в определении координаты устройства.

Плюсами данного метода являются высокая точность позиционирования устройств и средние затраты на эксплуатацию системы. Минусами же являются сложность в реализации системы, так как необходимо тщательно построить модель распространения сигнала, а также затраты на построение системы и реальные условия в помещениях (многолучевость, поглощение стенами и препятствиями).

#### Метод аугуляции

Метод аугуляции или позиционирования с определением угла входящего сигнала основан на определении местоположения пользователя благодаря углу,

при котором сигналы поступают на точку доступа. Данный метод – это революционная разработка компании *Cisco*, позволяющая добиться самой высокой точности позиционирования устройства в сетях *Wi-Fi*. Спроектировав систему на основе этого метода, можно достигнуть погрешности в 1 м при определении координаты пользователя. В основе лежат показания внешнего модуля точечного позиционирования *Cisco Aironet*.

Устройство представляет собой точку доступа *Cisco*, имеющую модуль точного позиционирования и специальную антенну. Антенна – это массив из 32 антенн, каждая из которых принимает сигнал иначе, чем соседняя [8]. Алгоритм предоставляет возможность из собранной информации рассчитать угол, под которым сигнал пришел на точки доступа и сузить сегмент возможного нахождения *Wi-Fi* пользователя до луча. Затем можно использовать геометрические расчеты для оценки местоположения устройства.

Достоинствами данного метода являются высокая точность позиционирования устройств и низкие затраты на эксплуатацию, а недостатками будут являться высокая стоимость развертывания системы и восприимчивость к пассивным помехам. Реализованная система хорошо работает в ситуациях с прямой видимостью, но при наличии препятствий страдает в точности, когда сталкивается с отражением сигнала от окружающих объектов.

#### Метод трилатерации

В основе метода лежит определение местоположения устройства в помещении в виде координат точки пересечения трех сфер, в центре которых расположены точки доступа *AP1*, *AP2* и *AP3* с известными координатами. В качестве входных данных используются характеристика сети *Wi-Fi*, например, частота сигнала, мощность сигнала, используемый *Wi-Fi* канал, сетевой *MAC*-адрес и координата точки доступа. Для реализации данного метода должны использоваться, как минимум, три *Wi-Fi* точки, находящиеся на одном этаже. Нужно учитывать, что уровень сигнала от каждой точки доступа уменьшается в зависимости от коэффициента шума радиообстановки, а также расстояний между передатчиком и приемником, поэтому необходимо расставлять точки доступа как можно чаще.

Расчет координаты устройства может быть произведен решением системы уравнений трех сфер, с учетом приведенной системы координат:

$$\begin{aligned}r_1^2 &= x^2 + y^2 + z^2 \\r_2^2 &= (x - x_2)^2 + y^2 + z^2 \\r_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + z^2\end{aligned}$$

Исследуемый метод определяет расстояние по уровню сигнала на входе приемного устройства мобильного оборудования.

Достоинством данного метода является высокая точность позиционирования, относительно невысокая сложность реализации и стоимость развертывания. Недостатком же является вносимый шум в радиообстановку, который может повлиять на точность определения местоположения устройств.



### Метод идентификации на основе искусственной нейронной сети

Метод идентификации на основе искусственной нейронной сети строится на измерении мощности сигналов от всех ближайших по уровню сигнала точек доступа в определенном массиве точек, названных опорными.

Устройство, местоположение которого нужно определить, собирает данные об окружающих его *Wi-Fi* точках путем анализа карты радиобстановки. Эти данные используются уже на обученной и протестированной заранее нейронной сети, предназначенной для определения текущего местоположения устройства клиента на основе данных радиосигнала. Специально разработанное настольное приложение подготавливает данные, «обучает» и тестирует нейронную сеть. Это можно реализовать различными способами, в некоторых научных трудах это реализуется на алгоритме под названием «*Resilient Propagation*» (*Rprop*) – алгоритм с обратным распространением ошибки.

Таким образом, метод позиционирования на основе искусственной нейронной сети имеет высокую точность и возможность обработки большого количества данных, но сложность реализации и эксплуатации обойдется дорого для предприятия. Дело в том, что при любом изменении статической обстановки помещения придется снова «обучать» искусственную нейронную сеть из-за того, что значения мощности сигнала имеют прямую зависимость от препятствия, встречающегося на пути сигнала к точке доступа. Так как этот процесс должен проводиться под контролем оператора, потребуются регулярные финансовые вложения со стороны предприятия. Кроме обучения, также нужно создать программное или аппаратное решение для самой нейронной сети, разработать алгоритм позиционирования, закупить оборудование и прочее. Поэтому проектирование и реализация системы на основе данного метода оправдано лишь при большой площади помещения с небольшим количеством инженерных конструкций, которые почти не будут передвигаться [9].

### Метод позиционирования на основе *Wi-Fi* меток

Данный метод позиционирования основан на активных устройствах, которые могут представлять из себя браслет на запястье. Сейчас *Wi-Fi* метки наиболее востребованы в организациях со строгим контролем доступа на территорию, а точнее на предприятиях, у которых введен запрет на использование мобильных устройств на территории объекта. Позиционирование реализуется любой из рассмотренных ранее технологий с единственным условием, что объектами необходимы быть устройства, предоставленные предприятием.

Проектирование и реализация такой системы имеет высокие затраты из-за того, что организации требуется купить каждому сотруднику по одному экземпляру устройства, а также необходимо закупить комплекты для людей, которые не работают на объекте, но при определенных обстоятельствах потребуется получить доступ на территорию предприятия, например, разного рода комиссии. Еще одним недостатком метода является сложность в организационном аспекте, так как нужно будет провести обучение людей по работе с метками и развернуть пропускной пункт, который будет принимать,

выдавать и настраивать их. Точность определения координаты устройств будет зависеть от выбранного алгоритма определения местоположения.

### **Сравнение методов**

Проанализировав все актуальные методы позиционирования, можно сделать вывод, что метод трилатерации по сравнению с остальными обладает высокой точностью. Таких же и более лучших результатов можно добиться, используя методы ангуляции и идентификации на основе искусственной нейронной сети, но их реализация довольно сложна и затраты на эксплуатацию будут высоки. Трилатерация обладает относительно невысокой сложностью в проектировании и реализации системы, а также невысокой стоимостью в эксплуатации, этого можно добиться, используя методы распознавания шаблона и позиционирования по точке доступа, но тогда точность не будет такой высокой. По результатам анализа методы трилатерации и триангуляции имеют схожую оценку по критериям отбора, но точность их позиционирования составляет до 1 и 5-7 м соответственно. Можно сделать вывод, что оптимальным методом для реализации системы позиционирования в помещении на базе Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича является трилатерация.

### **Реализация и тестирование системы позиционирования в сетях *Wi-Fi***

Применяемый в данной статье метод трилатерации использует сигнал беспроводной сети передачи данных. Основная проблема – это разработка способа определения расстояния между пользовательским устройством и точкой доступа. Исходными данными для данного метода являются такие, как используемый канал, уровень сигнала, частота *Wi-Fi*, сетевой *MAC*-адрес и координаты самой *Wi-Fi* станции. Благодаря принятому уровню сигнала можно оценить расстояние между пользователем и *Wi-Fi* оборудованием.

При реализации метода трилатерации пользователю необходимо находиться в зоне действия трех и более *Wi-Fi* станций, которые находятся на одном этаже здания. Уровень сигнала этих точек доступа снижается экспоненциально относительно расстояния между передатчиком и приемником, а также фактора шума. Поэтому, данную зависимость можно рассмотреть, как функцию от расстояния.

По оценке уровня сигнала, расстояние представляется в виде круга с радиусом в центре которого *Wi-Fi* станция. Пересечение окружностей трех точек доступа определяет точку или зону нахождения мобильного устройства. Эту модель можно представить в виде системы уравнений [10]:

$$\begin{aligned}d_1^2 &= (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 \\d_2^2 &= (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 \\d_3^2 &= (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2\end{aligned}$$

где:  $x_0, y_0$  – координата позиционирующего устройства;  $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3$  – координаты *Wi-Fi* оборудования;  $d_1, d_2, d_3$  – оцененные расстояния от устройства до точек доступа.

Преобразовав систему уравнений, можно получить:

$$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 - (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 = d_1^2 - d_3^2$$

$$(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 - (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 = d_2^2 - d_3^2$$

Развернув два приведенных выше уравнения, можно получить:

$$2x_0(x_1 - x_3) - 2y_0(y_1 - y_3) = d_1^2 - d_3^2 - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2)$$

$$2x_0(x_2 - x_3) - 2y_0(y_2 - y_3) = d_2^2 - d_3^2 - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2)$$

Решением системы уравнений является точка пересечения окружностей, в которой находится устройство. Модель работы метода показана на рис. 3.

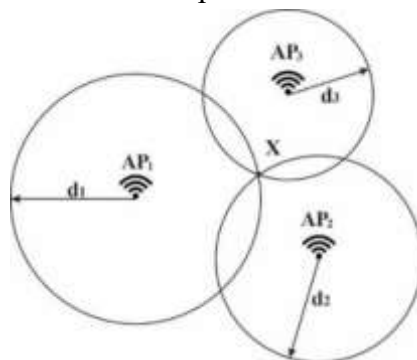


Рисунок 3

Тем не менее для того, чтобы определить точку пересечения, потребуется определить расстояние между пользователем и *Wi-Fi* станцией на основе информации об уровне сигнала. На рис. 3 радиусы соответствуют уровням сигнала каждой точки доступа внутри окружностей. Эта задача решается благодаря созданию модели распространения сигнала внутри помещения. Отражение и поглощение сигнала препятствиями является главной причиной возникновения погрешностей при определении местоположения устройства. Затухание сигнала зависит от многих факторов, таких, как частота сигнала и расположение пользователя относительно отражающих поверхностей и препятствий. Применяемый в данной работе способ оценивания расстояния от устройства до *Wi-Fi* оборудования – это модель распространения сигнала в свободном пространстве, имеющая формулу потери уровня сигнала в свободном пространстве [11]:

$$Pr(d) = Pr(d_0) - 10n \log_{10}(d)$$

где:  $Pr(d)$  – уровень сигнала, принимаемый на расстоянии  $d$ ;  $Pr(d_0)$  – уровень сигнала, принимаемый на расстоянии  $d_0$  от точки доступа, равный  $-35$   $dBm$  на расстоянии 1 м;  $n$  – коэффициент затухания, для внутренней среды равный от 2 до 6;  $d$  – расстояние от приемника до передатчика. На рис. 4 показаны результаты первого тестирования.

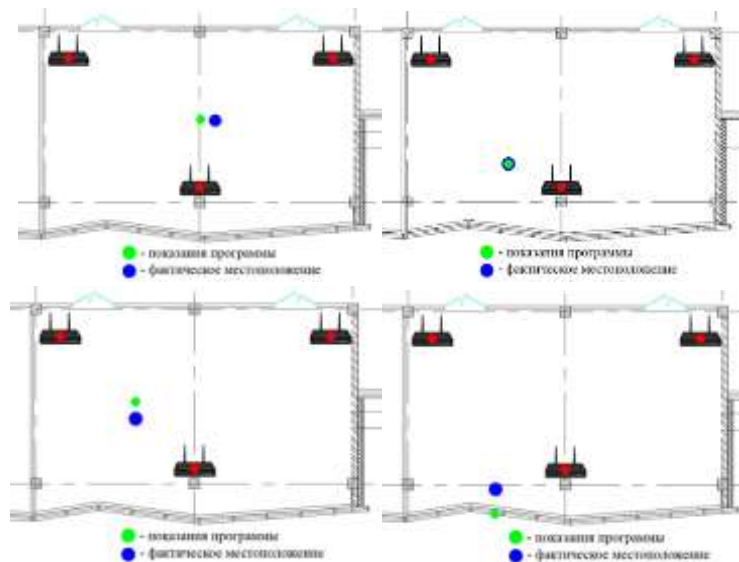


Рисунок 4

Для проведения тестирования был собран лабораторный стенд. В работе системы использовался диапазон частот – 2,4 ГГц. Для первого теста была выбрана аудитория, которая имеет большую площадь в 91 м<sup>2</sup> и малое количество объектов, которые могли бы сильно повлиять на затухание сигнала. При первом тестировании системы было использовано три точки доступа.

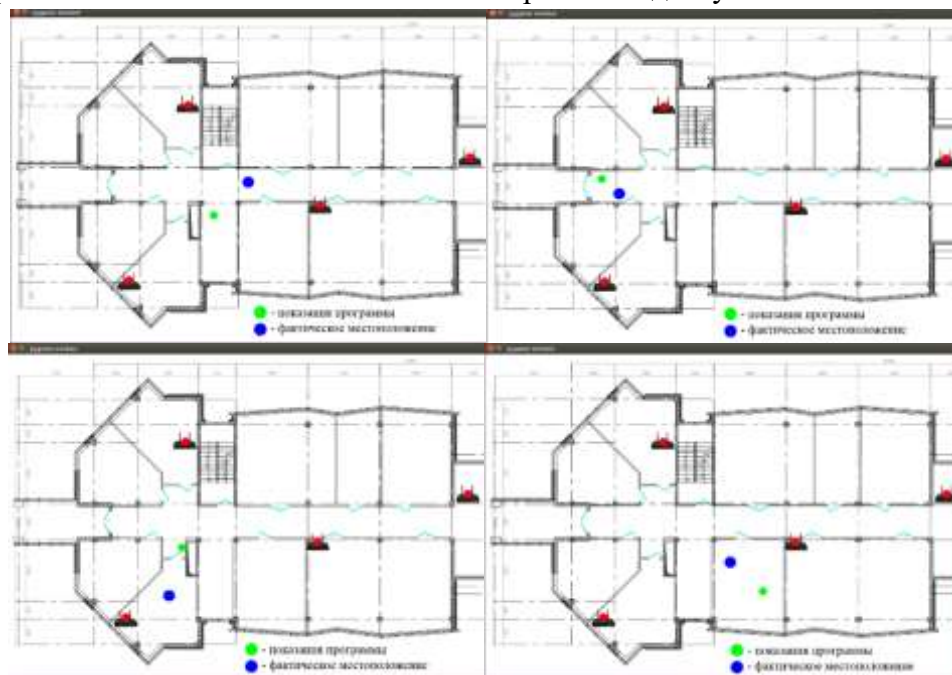


Рисунок 5

В результате теста была получена высокая точность позиционирования с погрешностью измерений до 1 м. Это было достигнуто благодаря тому, что все *Wi-Fi* станции перекрывали друг друга, тем самым в каждой точке помещения можно было корректно рассчитать местоположение устройства. А также точность обусловлена тем, что сигналу не нужно было проходить через стены, которые внесли бы серьезное затухание сигнала. Система показала высокую эффективность и качество работы в открытом пространстве, что позволяет

провести тестирование с несколькими помещениями для более точного анализа ее работы.

Для проведения второго тестирования выбраны помещения на базе НОЦ «БИС» и использованы четыре точки доступа. На рис. 5 показаны результаты второго тестирования.

В результате теста снизилась точность позиционирования, погрешность в определении местонахождения устройства составила до 3 м. На точность повлияло затухание сигнала, так как его мощность значительно снижается при прохождении через стены, а тем более несущие, что пагубно влияет на результаты. А также повлияло то, что точки доступа не перекрывают друг друга, поэтому вся площадь помещений не может быть покрыта, из-за чего в определенных местах программа и вовсе не сможет определить местоположение устройства.

### **Заключение**

В статье были рассмотрены применяемые в настоящее время технологии позиционирования. Их анализ показал, что для задачи позиционирования устройств в помещениях самой высокой точностью и меньшими затратами на развертывание системы и эксплуатацию обладает технология позиционирования на основе *Wi-Fi* сетей.

Позиционирование в сетях *Wi-Fi* осуществляется благодаря нескольким методам определения местоположения устройств в пространстве, в основе которых лежат технологии по расчету расстояния от точек доступа до пользователя. Все актуальные на данный момент технологии в работе были рассмотрены. Все применяемые методы в позиционировании были описаны и проанализированы по критериям с целью отбора лучшего для реализации в системе позиционирования сетей *Wi-Fi*.

По результатам анализа был отобран метод трилатерации, так как он обладает высокой точностью и относительно небольшими затратами на развертывание системы. На его основе разработан алгоритм для системы определения положения пользователя в помещении.

Для тестирования системы был спроектирован лабораторный стенд на базе помещений и оборудования НОЦ «БИС». Было проведено два теста: в одной аудитории и во всех помещениях была откалибрована и отлажена работа системы. В результате первого тестирования система показала высокую точность определения местоположения пользователя, погрешность составила до 1 м. В результате второго теста была получена точность с погрешностью измерений до 3 м. На снижение точности измерения местоположения устройства сильно повлияло затухание сигнала из-за стен. Для того, чтобы решить эту проблему потребуется создание более совершенной модели распространения сигнала, которая учитывала бы все объекты на пути распространения сигнала.

Исследование выполнено в рамках выполнения ПНИ по государственному заданию СПбГУТ на 2021 г.

## Литература

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2016. – 944 с.
2. Официальный сайт информационно-аналитического центра КВНО ФГУП ЦНИИмаш [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.glonass-iac.ru/navfaq.php>.
3. Ляшенко А.В. Гетеромагнитная микроэлектроника: сборник научных трудов. Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2016. – В. 20. – 148 с.
4. Wi-Fi Location-Based Services - Design and Deployment Considerations // Book Wi-Fi Location-Based Services - Design and Deployment Considerations / EditorCisco Systems, Inc., 2017.
5. Кучин И.Ю., Иксанов Ш.Ш., Рождественский С.К., Коряков А.Н. Разработка системы позиционирования и контроля с помощью беспроводной технологии Wi-Fi // Современные информационные технологии, 2016 – Т. 60. – № 3. – С. 131-136.
6. Брагин Д.С., Пospelова И.В., Черепанова И.В., Серебрякова В.Н. Радиочастотные технологии локального позиционирования в здравоохранении // Известия вузов России. Радиоэлектроника, 2020. – Т. 23. – № 3. – С. 64-66.
7. Андреев Р.А., Бабаев Н.В. Исследование эффективности позиционирования в сетях IEEE 802.11 Wi-Fi // Экономика и качество систем связи, 2020. – № 4. – С. 17-20.
8. Рева И.Л., Богданов А.А., Малахова Е. А. Применение точек доступа Wi-Fi для регистрации движения на объекте // Обработка информации, 2017. – Т. 68. – № 3. – С. 105-117.
9. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект // Лаборатория знаний, 2017. – 362 с.
10. Нгуен Дык Ань. Техника позиционирования радиосигнала и алгоритмы позиционирования трилатерации / мультилатерации // Наука и современное общество, 2021. – С. 47-49.
11. Малодушев С.В., Рогов А.А. Определение локации в корпоративных Wi-Fi сетях // Математическое моделирование и программирование, 2016. – Т. 9. – № 1. – С. 96-98.