

УДК 004.73

Навигация внутри помещений. Обзор и сравнительный анализ технологий: GSM, Bluetooth, Wi-Fi, GPS, RFID, NFC

Яковенко И.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы обработки информации и управления»*

Научный руководитель: Гапанюк Ю.Е., к.т.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы обработки информации и управления»*

gapyu@bmstu.ru

1. Цель

Целью работы является обзор шести технологий: GSM, Bluetooth, Wi-Fi, GPS, RFID, NFC – а также выполнение сравнительного анализа возможностей по созданию систем навигации в помещении на базе каждой технологии в отдельности и выбор самой оптимальной из них.

2. Вступление

Технологии, помогающие найти наши координаты и сориентироваться на местности, развиваются очень быстро. Если еще в 2000-ых годах простой GPS навигатор был диковинкой, то сейчас никого не удивит мощным устройством, способным ориентироваться по сигналам GPS и ГЛОНАСС, базовым станциям сотовых операторов, встроенному компасу и акселерометру. Уже многое сделано для упрощения навигации, однако, есть еще обширное поле для нововведений. Как известно, спутниковая навигация – не самое лучшее решение в густонаселенных районах. На местности с плотной застройкой точность сигналов GPS или ГЛОНАСС может падать с 5-ти до 10-15, а иногда и до 30-ти метров. Это явно недопустимая величина. Но тут в дело вступает навигация по вышкам сотовой связи. Этот метод позиционирования отлично работает в условиях больших городов, ведь концентрация базовых станций в городах очень высока. В слабозаселенных районах эффективность этого метода гораздо ниже.

Прогресс не стоит на месте; следующим этапом в системах навигации является создание систем навигации внутри помещений. Данная статья является обзором шести технологий, а также включает в себя их сравнительный анализ, по результатам которого будет рекомендована оптимальная технология для создания навигации внутри помещения.

3. Обзор технологий, подготовка данных для сравнительного анализа

Для начала необходимо выполнить обзор всех технологий, что позволит отбросить заведомо ненужные и сконцентрироваться на более подходящих.

GSM

GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи, с разделением каналов по времени и частоте. Был разработан в конце 1980-х годов.

Связь возможна на расстоянии не более 120 км от ближайшей базовой станции даже при использовании усилителей и направленных антенн. Поэтому для покрытия определённой площади необходимо большое количество передатчиков.

При отсутствии препятствий ослабление сигнала при распространении возрастает пропорционально квадрату расстояния, увеличиваясь, таким образом, на 6 дБ каждый раз, когда расстояние удваивается.

Следует учитывать не только потери при прохождении сигнала в свободном пространстве, но так же и воздействия всякого рода препятствий, расположенных между станцией и сотовым телефоном. Например, железобетонные строения способны ослаблять сигналы, проходящие через них, в 100-1000 раз (то есть на 20-30 дБ).

Сводный список характеристик:

- 1) Способность сигнала «пробивать» стены: отличная.
- 2) Точность определения координат: от нескольких километров до 10м.
- 3) Радиус действия: в городских условиях около 2км, реально до 120км.
- 4) Рабочие частоты: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц.
- 5) Доступность и распространённость: более 95% телефонов на территории Европы.
- 6) Минимальная цена дополнительного оборудования для обеспечения работы навигационной системы: точность навигации зависит только от количества базовых станций.
- 7) Минимальная цена мобильного устройства, поддерживающего данную технологию: 500 рублей.
- 8) Энергопотребление: до 300мА.

Вывод: на сегодняшний день нет возможности использовать данную технологию для навигации внутри помещений, поскольку точность определения координат низкая, нет возможности определить уровень над уровнем моря (устройство не сможет понять, на каком этаже здания оно находится), значительное ослабление сигнала из-за

железобетонных перекрытий, а также прямая зависимость точности от количества дорогостоящих базовых станций.

Bluetooth

Bluetooth – производственная спецификация беспроводных персональных сетей.

Сводный список характеристик:

- 1) Способность сигнала «пробивать» стены: малая (нужно рассчитывать)
- 2) Точность определения координат: до 1 м.
- 3) Радиус действия: в среднем 10м, но бывает и до 100м.
- 4) Рабочие частоты: 2,402 ГГц - 2,48 ГГц
- 5) Доступность и распространённость: более 95% телефонов на территории

Европы.

6) Минимальная цена дополнительного оборудования для обеспечения работы навигационной системы: точность навигации зависит только от количества Bluetooth-меток.

7) Минимальная цена мобильного устройства, поддерживающего данную технологию: 1500 рублей.

- 8) Энергопотребление: в метках менее 0,01мА. У телефона менее 20мА.

На момент написания статьи Bluetooth – основная технология, используемая для навигации внутри помещений.

Wi-fi

Wi-Fi — торговая марка для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Бытует мнение, что к 2016-ому году Wi-Fi-навигация опередит GPS. Но в данной работе стоит задача навигации внутри помещения, с ней Wi-Fi справляется плохо, невозможно достичь высокой точности. Технология Wi-Fi может определить, в какой именно комнате здания вы находитесь, но вот в какой части комнаты – это уже непосильная задача.

Сводный список характеристик:

- 1) Способность сигнала «пробивать» стены: малая (нужно рассчитывать)
- 2) Точность определения координат: до 5 м (с использованием большого числа Wi-Fi станций)
- 3) Радиус действия: сильно разнится, минимум 5м
- 4) Рабочие частоты: 2.4 – 2.4835 ГГц
- 5) Доступность и распространённость: более 80% телефонов на территории

Европы.

6) Минимальная цена дополнительного оборудования для обеспечения работы навигационной системы: точность навигации зависит только от количества wi-fi-станций. Очень дорогостоящая навигация (необходимо минимум по одной станции в помещении)

7) Минимальная цена мобильного устройства, поддерживающего данную технологию: 1500 рублей.

8) Энергопотребление: до 330 мА

Большим плюсом является то, что используется уже существующая инфраструктура сетей связи – точки беспроводных сетей Wi-Fi, и это наименее затратный вариант. Методика определения координат следующая: устройство пользователя сканирует доступные Wi-Fi-точки доступа, затем информацию о них отправляет на сервер, где и вычисляются координаты пользователя. К сожалению, координаты Wi-Fi точек не всегда точны: они могут быть ошибочны при смещении Wi-Fi точек или при перепланировке здания. Точность при таком подходе недостаточно высока. При использовании специально созданной Wi-Fi инфраструктуры возможно достижение точности 3-5 метров, но это уже требует ощутимых затрат на создание и обслуживание подобной системы, да и идентифицировать клиентов по Wi-Fi, привязывая их расположение к карте помещений, проблематично – начиная с iOS 8, mac-адреса Apple-устройств (iPhone, iPad) постоянно меняются, для предотвращения «рекламной» слежки.

GPS

GPS – спутниковая система навигации, обеспечивающая измерение расстояния, времени и определяющая местоположение во всемирной системе координат.

К сожалению, до сих пор GPS не смогла решить проблему навигации в помещениях. Была запатентована технология GPS репитеров, но видимых результатов она не принесла. В крупных торговых центрах, в многоэтажных зданиях GPS не позволяет точно определить местоположение объекта, даже на открытом пространстве точность GPS часто оставляет желать лучшего. Ввиду выше изложенного данная технология более не будет рассматриваться как технология для навигации внутри помещения.

RFID, NFC

RFID и NFC – две тесно связанные технологии беспроводной связи, которые используются во всем мире для огромного числа приложений, таких как контроль доступа, отслеживания грузов и бесконтактных платежей. RFID была впервые запатентована в 1983 году и является предшественницей NFC.

Технология RFID представляет из себя один из способов беспроводной связи между RFID чипом и активным считывателем. RFID метки могут быть отсканированы на

расстояниях до 100 метров без прямой видимости для устройства считывания и используется во всем мире для отслеживания грузов в аэропортах, идентификации скота и многих других сферах.

Технология NFC является продолжением высокочастотного RFID стандарта. Поэтому NFC имеет много общих физических свойств с RFID. Существуют три различия:

- 1) NFC способна на двухстороннюю связь и поэтому может быть использована для более сложного взаимодействия, такие как эмуляция карт и обмен данными (P2P).
- 2) NFC ограничена на дальность считывания, обычно 5 см или меньше.
- 3) Только одна NFC метка может быть отсканирована в одно время.

Эти свойства были разработаны главным образом для обеспечения безопасных мобильных платежей, и именно по этой причине NFC ограничена на дальность считывания. Важным является то, что NFC теперь доступна в большинстве мобильных телефонов, и это, пожалуй, самое важное различие между NFC и RFID.

4. Сравнительный анализ

После обзора всех шести технологий можно сделать вывод, что на базе GSM, GPS и NFC невозможно создать точную систему навигации внутри помещений. Ниже поясним почему.

GSM не подходит, поскольку точность навигации напрямую зависит от количества дорогостоящих базовых станций, GSM позволяет определять координаты только в плоскости XY и не даёт возможности узнать координаты по оси Z, следствием чего является невозможность установить, на каком этаже здания находится человек. Так же на точность навигации большое влияние оказывают отражённые сигналы, которых внутри помещения будет слишком много.

GPS не подходит из-за плохой точности навигации (ошибка в 10м недопустима) и невозможностью сигнала преодолеть большое количество препятствий (в десятиэтажном офисном здании на первом этаже сигнал GPS от спутников вообще не будет ловиться).

NFC могла бы решить все проблемы: стоимость NFC меток мизерна; можно было бы закодировать в каждой метке координаты, наклеить их где только можно и ходить с мобильным устройством, считывать в автоматическом режиме; большинство современных технологий обладает модулем NFC; время считывания одной метки менее одной десятой секунды. Всё замечательно, за исключением искусственного ограничения радиуса действия: технология NFC имеет радиус действия менее 10см, в отличии от своего предка RFID, который имеет радиус действия от 1м до 100м.

Поэтому для сравнительного анализа отберём следующие технологии: Bluetooth, Wi-Fi, RFID.

Стоит сказать, что на момент написания работы широко распространена технология навигации на базе Bluetooth меток; навигация на базе Wi-Fi признана дорогостоящей, а навигация по RFID меткам в известных автору исследовательских работах не встречалась.

Из приведённого выше обзора можно выделить следующие критерии для сравнения:

- 1) Максимальная возможная точность навигации
- 2) Минимальная цена мобильного устройства, способного работать с данной технологией
- 3) Минимальная цена оборудования для организации навигации
- 4) Энергопотребление
- 5) Распространённость мобильных устройств, поддерживающих данную технологию.

Все критерии весьма субъективны, но попытаемся представить их в цифрах.

Для того чтобы сравнить технологии, рассчитаем все данные для помещения (рис. 1).

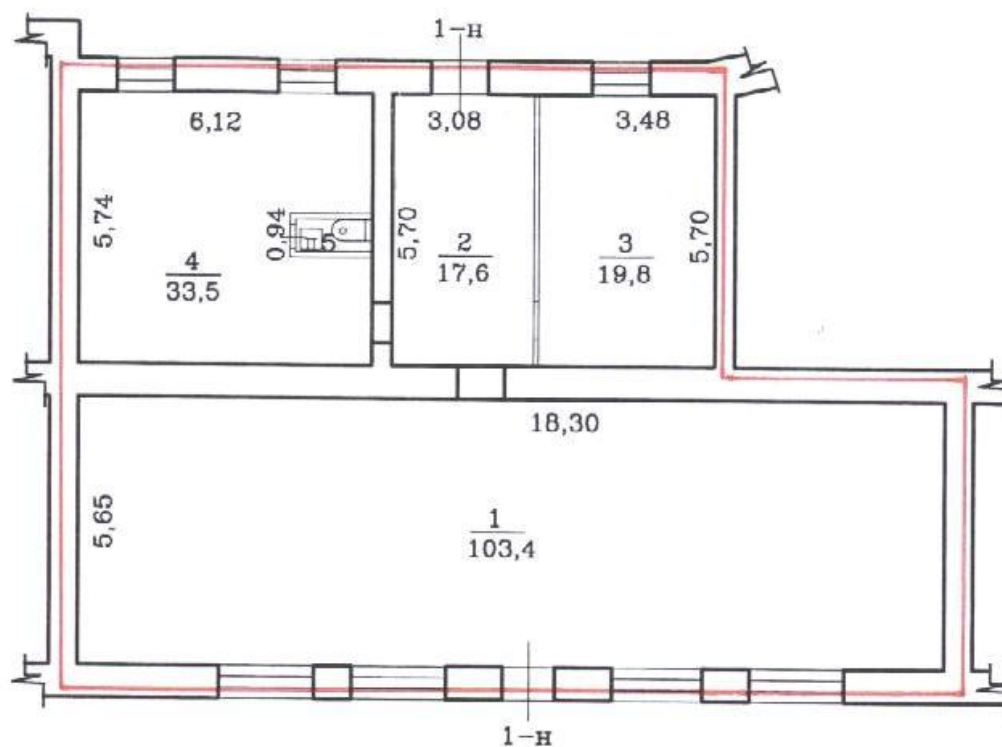


Рис. 1. Чертёж офиса

Для упрощения восприятия приведем данный чертёж к более схематическому виду (рис. 2).

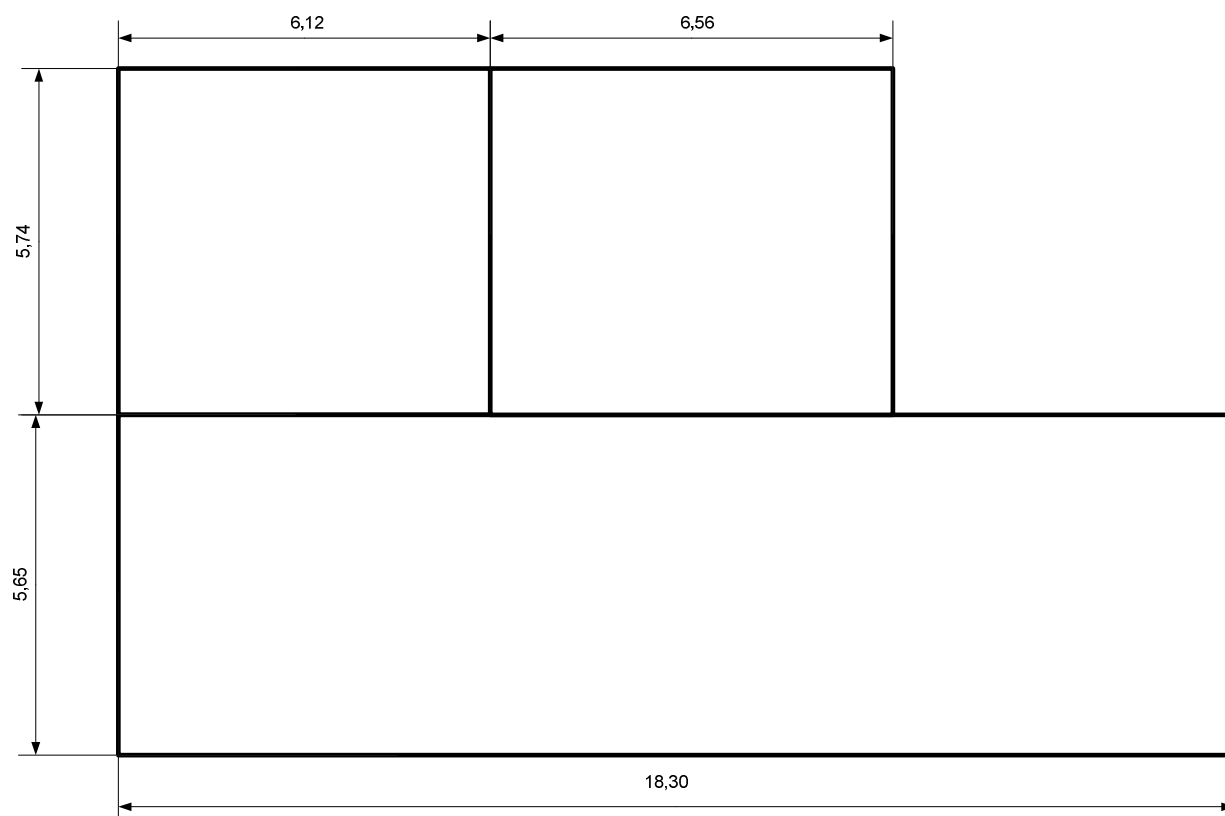


Рис. 2. Схематический чертёж офиса

Желаемая точность навигации: 1 м. Подсчитаем, сколько необходимо Bluetooth, Wi-Fi, RFID меток для достижения максимальной точности навигации.

Поскольку мобильное устройство может определять уровень сигнала каждой Wi-Fi точки, навигация возможно с помощью триангуляции. Т.е. в данном помещении было бы достаточно 3 точки, но не всё так просто. Дело в том, что железобетонные перекрытия ослабляют сигнал, в результате чего точность навигации резко падает. Для точной навигации необходимы сложные расчёты, которые в данной работе рассматриваться не будут. Нашей целью Wi-Fi навигации будет достижение точности до помещения (А, В или С). Т.е. в нашем случае будет 4 точки Wi-Fi (рис. 3).

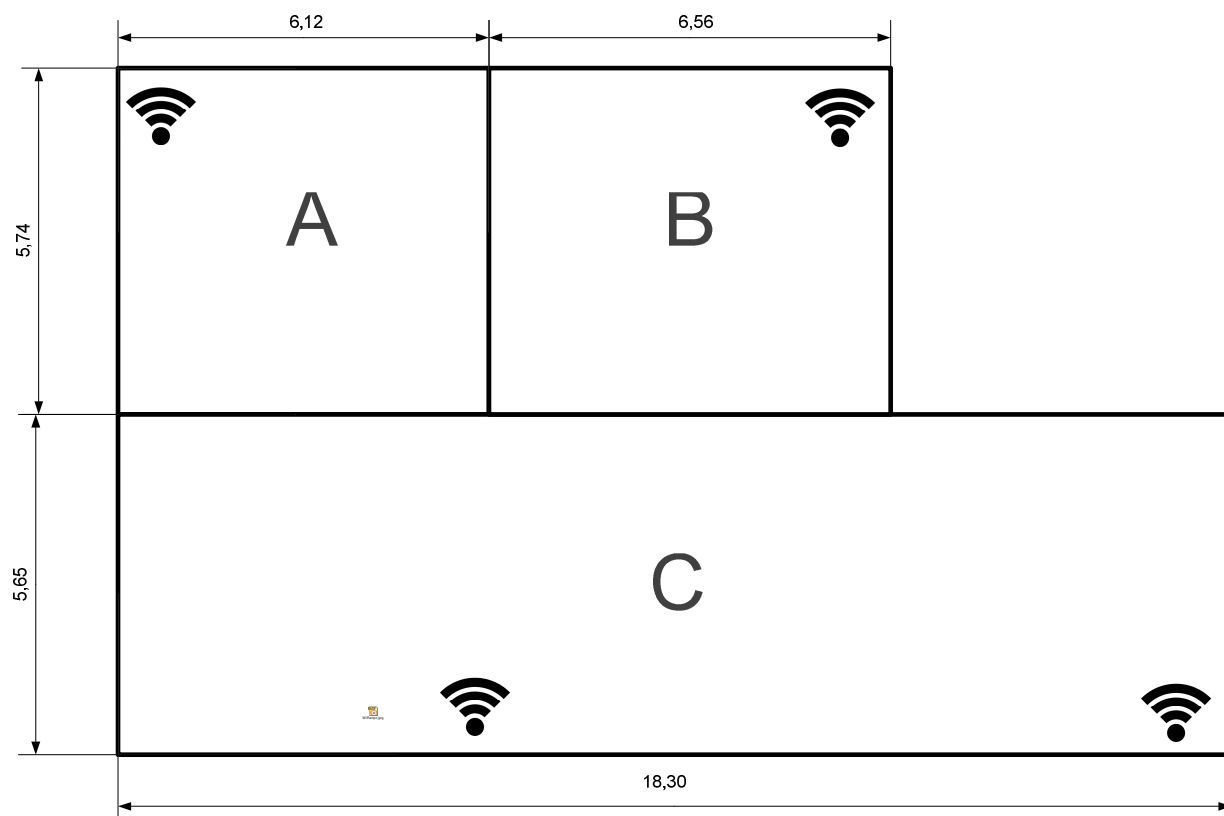


Рис. 3. Расположение Wi-Fi точек

Похожая ситуация складывается с Bluetooth метками. Поскольку их монтаж гораздо проще, можно было бы и больше меток поставить для увеличения точности навигации: определять уже не просто, в каком помещении находится мобильное устройство, а местонахождение в самом помещении. Так же Bluetooth метки в отличие от Wi-Fi точек обладают автономностью: нет необходимости подключать к сети, Bluetooth метка способна работать без подзарядки до трёх лет. Позволим себе расположить 7 меток (рис. 4).

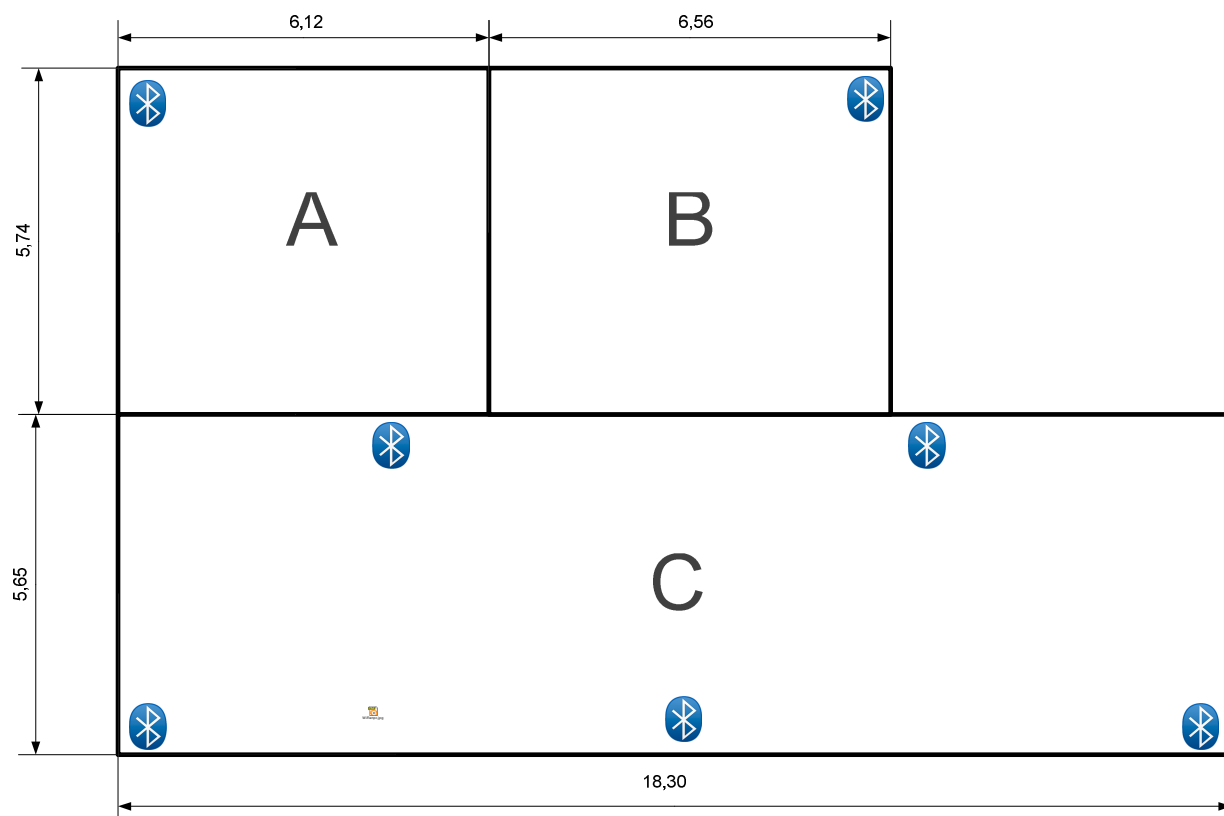


Рис. 4. Расположение Bluetooth меток

А вот с технологией RFID ситуация совсем другая. На данный момент для навигации данная технология нигде не используется, помимо того, даже в мобильных устройствах она не прижилась, её заменила технология NFC. Сейчас RFID доступна только в специализированных устройствах, называемых мобильными считывателями RFID меток (рис. 5)



Рис. 5. Считыватель RFID меток

Но предположим, что RFID встраивают в мобильные устройства. Будем пользоваться пассивными метками. В виду их малой стоимости попытаемся достичь точности навигации до 1 м. Будем стараться придерживаться правила: $1 \text{ м}^2 = 1 \text{ метка}$. Т.е. общее число меток для данного помещения равно 180 штукам (рис. 6).

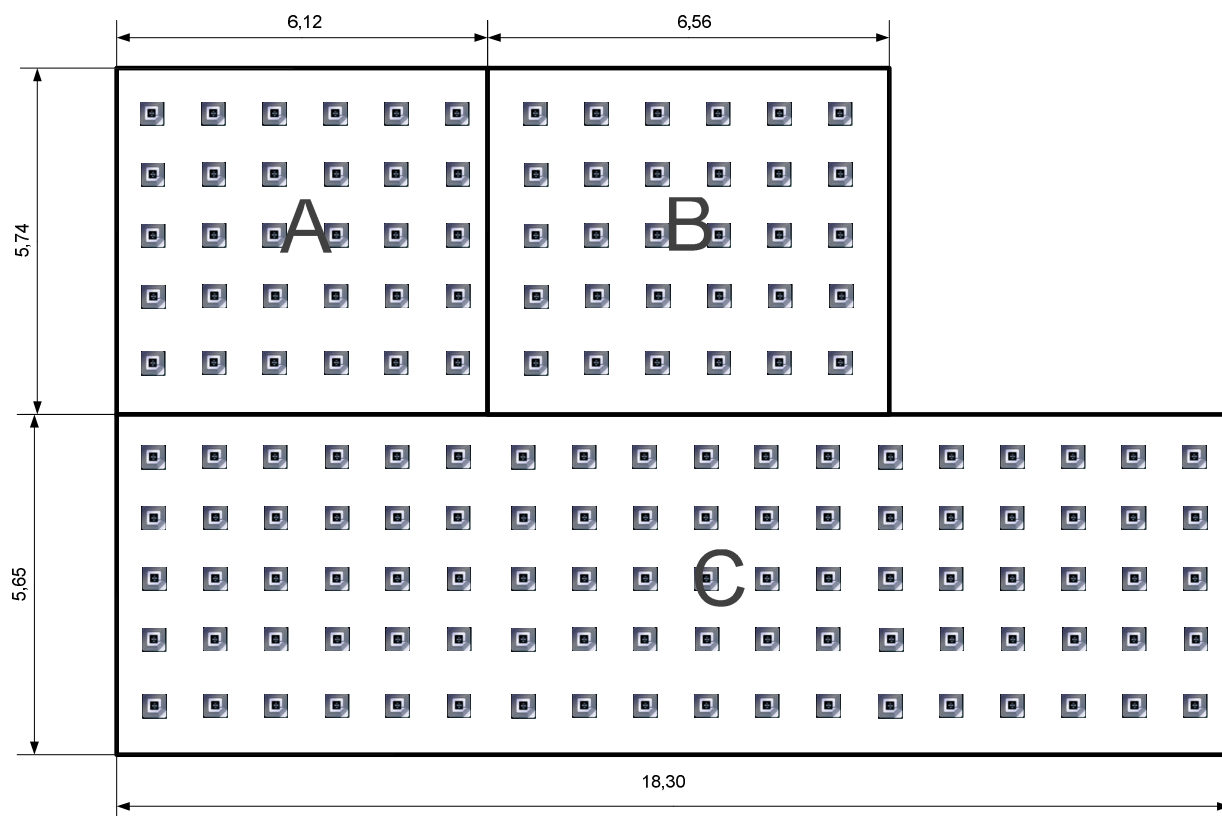


Рис. 6. Расположение RFID меток

Попытаемся выделить основные критерии, по которым можно было бы сравнить приведённые выше способы навигации.

Возможные критерии:

- 1) Максимальная точность навигации ($K1$).
- 2) Минимальная гарантированная точность навигации ($K2$).
- 3) Цена мобильного устройства с поддержкой данной технологии ($K3$).
- 4) Цена дополнительного оборудования ($K4$).
- 5) Сложность монтажа дополнительного оборудования ($K5$).
- 6) Сложность обслуживания и поддержания работоспособности системы ($K6$).
- 7) Энергопотребление ($K7$).
- 8) Время определения местоположения ($K8$).

Рассмотрим каждый критерий в отдельности и затем сведём все результаты в единую таблицу.

Т.к. большинство критериев имеют качественный характер, то следует перевести их в количественные критерии (табл. 1). В дальнейшем примем сокращение: качественный критерий – «кач. кр.» и количественный критерий «кол. кр.».

Таблица 1

Перевод качественных критериев в количественные

Качественный критерий	отсутствует	очень плохо	плохо	удовлетворительно	хорошо	отлично
Количественный критерий	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1

К1 – максимальная точность навигации. Теоретически, на базе Wi-Fi и на базе Bluetooth реально создать систему навигации с точностью определения координат до 3-5 м. На базе же RFID меток точность достигает 1м. Основной помехой более точного определения местоположения мобильного устройства является непостоянство приёма сигнала: все замечали, что даже у неподвижного телефона постоянно меняется уровень сигнала, в следствии чего результаты триангуляции будут ошибочны. Итак, сведём эти теоретические данные в таблицу, поскольку мы стремимся достичь точности навигации в 1м, то этот результат мы можем считать «отличным» (табл. 2).

Таблица 2

К1 – максимальная точность навигации

	Bluetooth	Wi-Fi	RFID
<i>K1 (кач. кр.)</i>	<i>хорошо</i>	<i>хорошо</i>	<i>отлично</i>
<i>K1 (кол. кр.)</i>	<i>0,8</i>	<i>0,8</i>	<i>1</i>

К2 – минимальная гарантированная точность навигации. Если у RFID это 1м, то Wi-Fi и Bluetooth такими цифрами похвастаться не могут, у них гарантированная точность не более 5м. Данный критерий тоже является качественным и оценивается экспертами (табл. 3).

Таблица 3

К2 – минимальная гарантированная точность навигации

	Bluetooth	Wi-Fi	RFID
<i>K2 (кач. кр.)</i>	удовлетворительно	удовлетворительно	<i>отлично</i>
<i>K2 (кол. кр.)</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>	<i>1</i>

К3 –цена мобильного устройства с поддержкой данной технологии. Цена обычного телефона, оснащённого Wi-Fi и Bluetooth, равна 2000 рублям. Иначе дела обстоят с RFID: телефонов, поддерживающую эту технологию, на данный момент не существует, есть мобильные RFID считыватели, но они нам не подходят. Поэтому по данному критерию выставим качественную оценку (табл. 4). Для дальнейшего сравнения можно заменить RFID на NFC, т.к. это две «родственные» технологии.

Таблица 4

К3– цена мобильного устройства

	Bluetooth	Wi-Fi	RFID
<i>К3 (кач. кр.)</i>	отлично	отлично	<i>отсутствует</i>
<i>К3 (кол. кр.)</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>

К4 –цена дополнительного оборудования. Данный критерий является количественным. Рассчитаем его исходя из данных приведённых в таблице 5. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 5

Расчёт цены дополнительного оборудования

	Цена 1 шт. (руб.)	Количество	Итог (руб.)
<i>Wi-Fi точка</i>	<i>700</i>	<i>4</i>	<i>2800</i>
<i>Bluetooth метка</i>	<i>300</i>	<i>7</i>	<i>2100</i>
<i>RFID метка</i>	<i>5</i>	<i>180</i>	<i>800</i>

Таблица 6

К4– цена дополнительного оборудования

	Bluetooth	Wi-Fi	RFID
<i>К4 (кол. кр.)</i>	<i>2100</i>	<i>2800</i>	<i>800</i>

Таблица 7

К4 после нормировки

	Bluetooth	Wi-Fi	RFID
<i>К4 (кол. кр.)</i>	<i>0,381</i>	<i>0,286</i>	<i>1</i>

К5 – сложность монтажа дополнительного оборудования. Данный критерий также является качественным. Сложность монтажа RFID меток нулевая, т.е. никаких особых трудозатрат не требует: наклеить на пол, под паркет, под ламинат метки довольно просто, следует лишь верно закодировать их (присвоить правильные координаты каждой метке). Дела с Wi-Fi и Bluetooth обходятся сложнее, если Bluetooth метка способна до 3-х лет работать от батарейки, то Wi-Fi точку необходимо подпитывать от сети. Также ощутимых затрат потребуют расчёты оптимального расположения, чтобы достичь наибольшей точности триангуляции (необходимо учитывать мощности точек, железобетонные перекрытия). Результаты оценки каждого варианта по данному критерию приведены в таблице 8.

Таблица 8

К5– сложность монтажа дополнительного оборудования

	Bluetooth	Wi-Fi	RFID
<i>К5 (кач. кр.)</i>	приемливо	плохо	отлично
<i>К5 (кол. кр.)</i>	0,6	0,4	1

К6 – сложность обслуживания и поддержания работоспособности системы. Данный критерий идёт отдельным пунктом, но он очень похож на предыдущий критерий, соответственно результаты оценки приведены в таблице 9.

Таблица 9

К6 – сложность обслуживания и поддержания работоспособности системы

	Bluetooth	Wi-Fi	RFID
<i>К6 (кач. кр.)</i>	хорошо	плохо	отлично
<i>К6 (кол. кр.)</i>	0,8	0,4	1

К7 – Энергопотребление. На данный момент мы не будем учитывать данный критерий, т.к. он нуждается в экспериментальном подтверждении. Его сложно оценить даже теоретически, т.к. например у Bluetooth есть несколько спецификаций, а RFID вообще ещё не встроен в телефон.

К8 – Время определения местоположения. Данный критерий также нуждается в экспериментальной оценке.

Теперь необходимо определить весовые коэффициенты, помним, что на данный момент К7 и К8 в анализе не участвуют (табл. 10).

Таблица 10

Весовые коэффициенты

	Важность	Весовой коэффициент (μ)
K1	3α	$0,1$
K2	9α	$0,3$
K3	6α	$0,2$
K4	4α	$0,133$
K5	5α	$0,166$
K6	3α	$0,1$
Σ	30α	1

Таблица 11

Сравнительный анализ

	μ	Bluetooth	Wi-Fi	RFID
K1	$0,1$	$0,8$	$0,8$	1
K2	$0,3$	$0,6$	$0,6$	1
K3	$0,2$	1	1	0
K4	$0,133$	$0,381$	$0,286$	1
K5	$0,166$	$0,6$	$0,4$	1
K6	$0,1$	$0,8$	$0,4$	1
ИТОГ		0,690273	0,604438	0,799

По итогам анализа (табл. 11) мы можем сделать вывод, что $\text{RFID} > \text{Bluetooth} > \text{Wi-Fi}$. Но следует не забывать о всех предположениях и допущениях.

5. Заключение

По результатам обзора и сравнительного анализа можно сделать вывод, что самая оптимальная технология для реализации навигации внутри помещения является RFID, которая в настоящее время не встроена в мобильные телефоны. Можно сказать, что лучшим решением задачи навигации внутри помещения станет комплексное использование технологий, например тандем Wi-Fi и RFID или тандем Bluetooth и RFID. Это позволит повысить точность навигации и уменьшить вероятности ошибок.

Список литературы

1. Комраков Д.В. Технологии позиционирования наземных подвижных объектов в сетях GSM. М.: Буки-Веди, 2012. 166 с.
2. Тимошенко И.В., Бродовский А.И. Технология радиочастотной идентификации в ГПНТБ России // Вестник Ассоциации ЭБНИТ. М., 2011. № 12. С. 88-98.
3. Будущее систем позиционирования и чем опасна их эволюция. Режим доступа: <http://blog.jammer.su/> (дата обращения 10.03.2015).
4. Финкенцеллер К. RFID-технологии. М.: Додэка XXI, 2010. 496 с.
5. Indoor Positioning System. Available at: <http://lips.si/>, accessed 13.03.2015.
6. Пролетарский А.В., Баскаков И.В., Чирков Д.Н. Беспроводные сети Wi-Fi. М.: БИНОМ, 2007. 178 с.
7. Самохвалов Э.Н., Ревунков Г.И., Гапанюк Ю.Е. Генерация исходного кода программного обеспечения на основе многоуровневого набора правил // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. № 5. С. 77-87.