

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ**

*Завалюк Д.Н.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Клебан А.Е. – ст. преподаватель*

В данной работе рассматриваются методы моделирования и реализации навигации внутри помещений с использованием анализа данных от беспроводных источников. Описаны основные подходы к определению местоположения в закрытых пространствах, включая методы триангуляции, фильтрации данных, а также описан комбинированный метод. Полученные данные могут быть применены в различных областях, включая логистику, умные здания и системы мониторинга передвижения пользователей.

Современные системы навигации хорошо зарекомендовали себя при использовании на открытых территориях, однако при перемещении внутри зданий их эффективность существенно снижается. Это связано с рядом факторов. Традиционные спутниковые технологии, включая GPS, неспособны обеспечить требуемую точность в ограниченных пространствах из-за слабого сигнала, искажений и задержек. В связи с этим возникает необходимость в создании новых методов, способных эффективно решать задачи навигации в помещениях.

С развитием мобильных устройств и ростом вычислительных мощностей стало возможным проектировать программные решения, обеспечивающие точное определение положения пользователя внутри зданий. Однако внутренняя навигация остаётся нетривиальной задачей. Радиосигналы, используемые в таких системах, подвержены различным искажениям: они могут затухать, отражаться от стен и мебели, а также мешать друг другу, вызывая интерференцию. Поэтому важно применять сложные алгоритмы, способные адаптироваться к меняющимся условиям окружающей среды и эффективно справляться с внешними помехами.

Для навигации внутри зданий наиболее часто применяются два подхода: с использованием активных и пассивных компонентов.

В системах с активными устройствами применяются такие технологии, как инфракрасные сигналы, ультразвук, Wi-Fi и Bluetooth. Эти системы используют маяки, которые передают сигналы, улавливаемые смартфонами или другими устройствами пользователя. На основе анализа полученных сигналов можно определить местоположение пользователя относительно источников сигнала и, соответственно, внутри помещения. Такой способ позволяет в реальном времени отслеживать движение, отправлять уведомления и персонализированную информацию. Дополнительным плюсом является возможность анализа потоков людей для оптимизации процессов в таких местах, как торговые центры, аэропорты или производственные предприятия.

В отличие от активных решений, навигационные системы пассивного типа опираются на такие технологии, как RFID, QR-коды и NFC [1]. В подобных системах по ключевым точкам помещения размещаются специальные метки, с которыми пользователь может взаимодействовать для определения своего положения и получения информации о направлении движения. Преимуществами таких решений являются простота внедрения и минимальные требования к инфраструктуре. Однако пассивные системы обладают и рядом ограничений, включая невозможность отслеживания передвижения в режиме реального времени, ограниченную точность и зависимость от нахождения пользователя в зоне действия контрольных точек.

Часто пассивные технологии применяются в образовательных учреждениях или административных зданиях, где навигация строится между определёнными точками – например, номерами аудиторий. Пользователь указывает начальную и конечную точку маршрута, после чего система рассчитывает путь. Основой для алгоритма маршрутизации, как правило, служит усовершенствованный вариант алгоритма Дейкстры – A\*\*.

Когда речь идёт об использовании Wi-Fi или Bluetooth для локализации, применяются два основных метода. Первый из них – трилатерация – основан на определении координат объекта посредством вычисления расстояний между ним и несколькими датчиками. Эти расстояния определяются на основе интенсивности сигнала, принимаемого устройством, что напоминает методы, используемые в гидроакустических системах.

Второй метод предполагает определение положения пользователя на основе сопоставления текущих уровней сигнала с заранее собранной базой данных значений, привязанных к конкретным точкам пространства. Такая база называется «радиоотпечатком» и представляет собой карту распределения сигналов внутри помещения. Достоинством этого метода является возможность использования существующей инфраструктуры, например, Wi-Fi-сетей. Однако следует учитывать и

недостатки: необходимость предварительной калибровки, ограниченная точность из-за вариативности сигналов и наличие разрывов в покрытии карты.

В данной работе рассматривается комбинирующий метод, который позволяет нивелировать недостатки методов Wi-Fi, Bluetooth и датчиков телефона по отдельности.

В ходе проведения работы была проведена серия моделирований с использованием различных методов позиционирования. В ходе экспериментов рассматривались как отдельные технологии, такие как BLE (Bluetooth Low Energy) и Wi-Fi, так и комбинированные подходы с использованием IMU-сенсоров. Основной целью моделирования было оценить влияние каждого метода на точность позиционирования и продемонстрировать эффективность гибридного подхода для улучшения точности вычислений.

Для первого этапа моделирования был выбран метод позиционирования с использованием BLE, при котором координаты пользователя рассчитывались на основе сигналов, получаемых от BLE-маяков. Сигнал с каждого маяка характеризуется уровнем RSSI (Received Signal Strength Indicator), который используется для расчета расстояния до маяка.

После выполнения моделирования, были получены предсказанные координаты пользователя, которые затем были сопоставлены с реальной позицией (например, в центре помещения). Визуализация показала, что использование только BLE дает ошибку порядка 2 метров, что является приемлемым для многих приложений, но все же недостаточным для более точных задач.

На третьем этапе моделирования был реализован комбинированный подход, который включает использование как BLE, так и Wi-Fi. Для этого было рассчитано среднее расстояние между устройством и маяками, что позволило улучшить точность позиционирования по сравнению с использованием только одного метода. При комбинированном использовании BLE и Wi-Fi ошибка позиционирования снизилась до 1.5 метров, что значительно улучшило точность по сравнению с использованием только одного метода.

Для дальнейшего повышения точности позиционирования в систему были добавлены данные от IMU-сенсоров. IMU-сенсоры включают в себя акселерометр, гироскоп и магнитометр, которые позволяют отслеживать движение пользователя, его ускорение и направление.

С помощью данных с IMU-сенсоров можно более точно отслеживать изменение положения устройства, особенно когда оно перемещается между маяками. В результате добавления IMU-сенсоров ошибка позиционирования была снижена до 1 метра, что является высокоточными результатами для систем внутренней навигации.

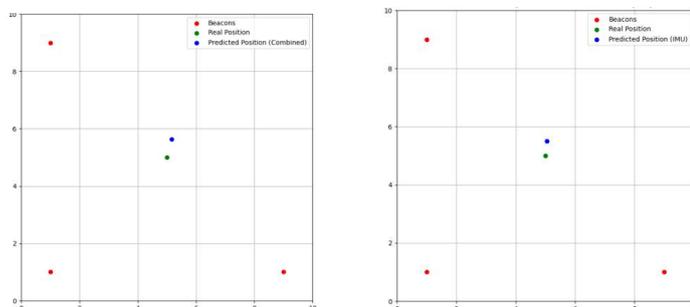


Рисунок 1 – Схемы моделирования результатов позиционирования пользователя в зависимости от комбинации методов (слева направо): BLE и Wi-Fi, BLE, Wi-Fi и IMU

Моделирование показало, что использование гибридного подхода, включающего BLE, Wi-Fi и IMU-сенсоры, дает наилучшие результаты позиционирования. Комбинированное использование BLE и Wi-Fi позволяет снизить ошибку позиционирования до 1.5 метров, а добавление IMU-сенсоров улучшает точность до 1 метра. Результаты моделирования отражены на рисунке 1.

Современные системы навигации внутри помещений продолжают развиваться и совершенствоваться. Несмотря на существующие вызовы, такие как сложность работы с радиосигналами в ограниченных пространствах, использование гибридных методов и интеграция новых технологий открывают новые горизонты для создания высокоточных и адаптивных навигационных систем. Эти инновации могут существенно изменить подходы к управлению пространством в таких областях, как торговля, образование, логистика и здравоохранение, и способствовать созданию более умных и эффективных инфраструктур.

#### Список использованных источников:

1. Монгуш, А. В. Обзор технологий INDOOR-навигации / А. В. Монгуш, П. М. Кикин // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ, Том 9, №1 – 2017 – сс. 119-123.
2. Кошелев, Б.В. О возможности использования смартфонов для навигации внутри помещений / Б.В. Кошелев, Н.А. Карагин // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 9. Ч. 2 – 2017 – сс. 131-140.