

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА В ПРОСТРАНСТВЕ МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДОПЛЕРА

Ильянова Д.С.¹, Кацнельсон А.И.²,
Колпаков М.М.²

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
¹департамент электронной инженерии, МИЭМ
²департамент компьютерной инженерии МИЭМ
НИУ ВШЭ

Аннотация

Статья рассматривает применение инверсного радиолокационного синтезирования апертуры и эффекта Доплера для детектирования движущихся объектов в пространстве. Система, созданная на основе перечисленных технологий, позволит не только определять геолокацию, но и обнаруживать движущиеся объекты в темноте, зонах плохой видимости, местах, где они скрыты непрозрачными препятствиями по типу стены и так далее. Также обсуждаются возможности использования технологии сотовой связи и сетей Wi-Fi.

Введение

В современном мире использование микроволнового излучения стало повседневным [1]. Оно активно применяется в сотовой инфраструктуре для передачи данных и обеспечения связи между абонентами, предоставляя быструю и надежную связь в любой точке мира, сети wi-fi, которая делает возможным доступ в интернет в любом месте, где имеется соединение, тем самым позволяя эффективно осуществлять обмен информацией, работать удаленно, взаимодействовать с другими лицами, а также получать доступ к ресурсам и контенту в сети, и прочие технологии.

Из-за широкого распространения алгоритмов, предполагающих в своей основе использование микроволнового излучения, становится возможным применение выделяемого побочного излучения, не несущего в себе полезной информации, для нужд человека. На этой базе появляются различные системы, где энергия используется не только для приема-передачи информации, но и для питания электроприборов [2], подключения устройств умного дома, отслеживания геопозиции и многого другого.

Определение местоположения по сотовой связи

Развитая инфраструктура сотовой связи позволила определять геолокацию при помощи сотовой связи. Услугу предоставляют множество операторов связи, например: МТС [3], Мегафон [4] и другие. Принцип работы данной технологии заключается в том, что мобильный оператор может проследить и зафиксировать перемещения абонента путем анализа данных о сигналах, которые передаются между его мобильным устройством и сотовыми вышками, находящимися в его окружении. Технология создала новое направление в геоаналитике [5] и позволила анализировать плотность населения, динамику его перемещения и

другие метрики. Пример карты населения Новосибирска показан на рисунке 1.

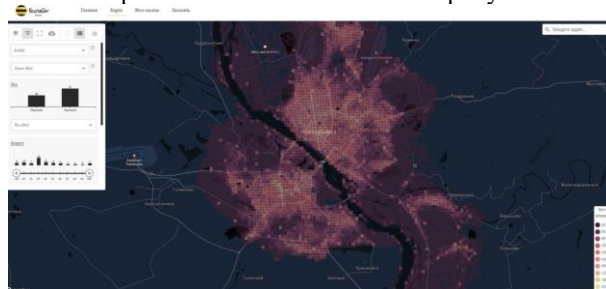


Рис. 1. Карта численности населения на основе сотовых данных оператора Билайн.

Сбор этих данных обеспечивает возможность определения приблизительного местоположения абонента с высокой точностью, достигающей нескольких метров.

Включив мобильный телефон или другое устройство в GSM-сети, запускается процесс поиска ближайших базовых станций. Телефон выбирает наилучшую соту, используя ее уникальный номер CellID и номер группы LAC. Затем Центр коммутации направляет вызов на нужную базовую станцию через контроллер BSC. Развитие геолокационных сервисов на базе GSM/UMTS-сетей было обусловлено тесной связью с отслеживанием местоположения в сотовой связи. Основные критерии работы таких сервисов включают точность и частоту определения координат абонента, а также возможность сохранения исторических данных и построения маршрутов передвижения. Для доступа к координатам абонента требуется его согласие. Различные сервисы, такие как Радар, Маячок и Навигатор, используют различные методы для точного определения местоположения пользователей. Сервис Контроль кадров позволяет дополнительно отслеживать вход и выход из геозоны, поиск сотрудников и агрегацию статистики маршрутов. Платформа геолокации обрабатывает данные с базовых станций и предоставляет информацию о координатах абонентов в реальном времени для различных сервисов, например, эта технология используется в экстренных службах для определения местоположения, звонящего по номеру 112.

Однако, для обеспечения работы такой системы необходимым условием является наличие у отслеживаемого объекта специального устройства, внешнего передатчика, при помощи которого осуществлялась бы связь. Вместе с тем, на смену описанным выше технологиям приходят такие устройства, для работы которых не требуется снабжать наблюдаемый объект дополнительным беспроводным устройством или набором датчиков.

Достичь такого результата возможно при помощи использования метода ISAR.

ISAR

Метод ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar) – это метод обработки радиолокационных данных, который применяется для изображения и анализа объектов на поверхности земли. Этот метод дает возможность получать качественные изображения

объектов даже при ослаблении или искажении сигналов радиолокации. Радиолокационная станция посылает радиоволны к объекту, который движется относительно нее. Отраженные от объекта сигналы фиксируются станцией и служат для создания изображения объекта. После этого используются специальные алгоритмы обработки данных для устранения искажений, связанных с движением объекта, и для улучшения качества изображения.

С помощью этого метода можно отслеживать движущиеся объекты, не прибегая к использованию антенной решетки. Классическое устройство обнаружения может находить цель с помощью антенн [6], которые находятся на разных расстояниях друг от друга, и позже обрабатывать полученную информацию для определения направления, в котором расположена цель относительно решетки. В отличие от этого, в технологии ISAR используется только одна приемная антенна - объект сам является антенной решеткой, он действует как обратная синтезированная апертура, т.е. работает по такому принципу, что используется для формирования луча принимаемого сигнала во времени, а не в пространстве, и определения местоположения движущегося объекта, как следствие, в каждый момент времени делается только одно измерение. За счет того, что цель движется, последовательные измерения во времени создают эффект обратной антенной решетки, что похоже на то, как человек, двигаясь, показывает свое местоположение на устройстве. Обработывая такие последовательные измерения с использованием стандартного управления лучом антенной решетки, устройство может определить пространственное направление движения человека или животного (рис. 2).

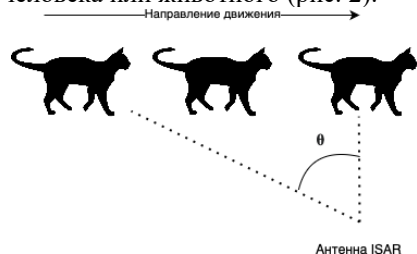


Рис. 2. Пример работы ISAR

В классических системах отслеживание движущихся объектов осуществлялось за счет использования антенной решетки. Однако такие системы были дорогими и громоздкими, так как для осуществления корректной работы устройства требовалась массивная антенная решетка. Используя метод обнуления MIMO, устройство задействует преимущества антенной решетки, а затем применяет метод ISAR для избежания ее недостатков. ISAR использует только одну приемную антенну, поэтому она может фиксировать только одно измерение в любой момент времени. Однако при перемещении объекта она делает выборку принятого сигнала в последовательных местоположениях в пространстве, словно у нее есть приемная антенна в каждой из этих точек. Благодаря взаимности каналов, последовательные временные выборки, полученные устройством, соответствуют последовательным

пространственным местоположениям движущейся цели. Таким образом, устройство эффективно принимает во времени то, что антенная решетка принимала бы в пространстве. Используя последовательные временные выборки как пространственные выборки, устройство может эмулировать антенную решетку и использовать ее для отслеживания движения за стеной.

В этом контексте, эффект Доплера играет ключевую роль. Этот феномен, который был впервые описан австрийским физиком Кристианом Допплером в 1842 году, описывает изменение частоты волны для наблюдателя, движущегося относительно источника этой волны. Когда объект движется, частота принимаемого сигнала изменяется в соответствии с его скоростью и направлением. Это изменение частоты, известное как сдвиг Доплера, позволяет определить, в каком направлении движется объект. Это дает устройству возможность отслеживать движение объекта в реальном времени [7].

Предположим, что у нас есть выборка сигнала $y[\theta]$, которая получена от устройства в различные моменты времени θ и n . Эта выборка представляет собой угол отклонения между каналом, который соединяет устройство и отслеживаемого объекта. Значение θ положительно, если объект движется в том же направлении, что и устройство, и отрицательно в противоположном направлении. Теперь нужно определить меру сигнала вдоль пространственного направления θ в момент времени n , которую обозначим как функцию $A[\theta, n]$.

Для определения значения устройство обрабатывает полученную выборку, чтобы удалить эффект передаваемого сигнала и получить канал в виде $h[n] = y[n] / x[n]$. Для эмуляции антенной решетки размера w , она рассматривает w последовательных каналов, то есть $[n] \dots h[n + w]$. При применении стандартной антенной решетки

$$A[\theta, n] = \sum_{i=1}^w h[n + i] e^{j \cdot i \cdot \Delta \cdot \sin \theta \cdot \frac{2\pi}{\lambda}},$$

где λ - длина волны, а Δ - пространственное расстояние между последовательными антеннами в решетке.

Блок-схема устройства

Устройство представляет из себя 3 антенны [8], одна передающая и 2 принимающие (рис. 3). Устройство состоит из HackRF One, как передатчика с рабочим диапазоном от 1 МГц до 6 ГГц, и 2

RTL2832SDR, как приемников, позволяя принимать диапазон с 60-1700 МГц

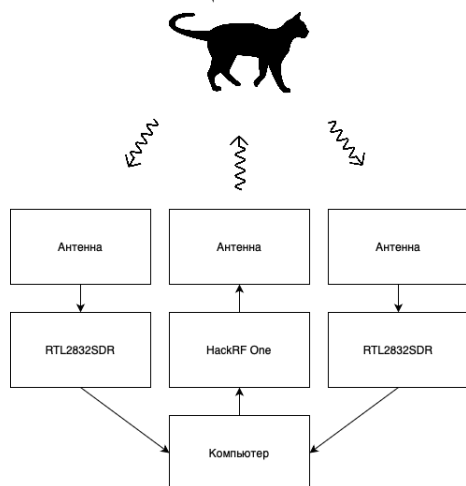


Рис. 3. Блок-схема системы

Данная схема позволяет моделировать применение данной технологии к базовым станциям сотовых операторов, попадая в рабочий диапазон некоторых из них. Например, для 4G одной из рабочих частот для всех операторов связи в России будет 800 МГц.

Заключение

Проведенное исследование показывает возможность использования микроволнового излучения для обнаружения движения людей сквозь препятствия и внутри помещений. В ходе исследования была описана блок-схема устройства, которая послужит для дальнейшей реализации прототипа устройства. Данная технология предоставляет функциональность, которая ранее была доступна только в военных системах, позволяя обнаруживать движение с помощью доступных и экономичных устройств, работающих в общедоступных диапазонах. Уникальность данного подхода заключается в том, что для реализации данной системы не нужно создание новой инфраструктуры, а достаточно использование базовых станций сотовой или Wi-Fi связи. Применение технологии также может быть использовано экстренными службами для определения местоположения человека и животных.

Благодарность

Публикация подготовлена в ходе проведения исследования (проект №23-00-003 «Исследование технологий и устройств беспроводного трансфера электромагнитной энергии для высокоскоростных мобильных и нательных устройств Интернета вещей (IoT/IIoT) и киберфизических систем») в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2023–2024 гг.

Список литературы

1. Yelizarov, D. M. Ikonnikova, A. I. Katsnelson, P. I. Gromova and D. S. Ilyanova, "Monitoring of RF-Field Strength in the Environment by Mobile Telecommunications in the Moscow," 2023 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, IEEE, 2023, P. 1-4.

2. Yelizarov, D. M. Ikonnikova, O. V. Arinin, A. I. Katsnelson and D. S. Ilyanova, "Intelligent System for Wireless Transmission of RF-Energy for Mobile IoT Devices," 2023 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), IEEE, 2023. P. 1-5.
3. Мой Поиск - сервис для определения местоположения людей по номеру телефона [Электронный ресурс] // МТС Поиск. 2004. 26 марта. URL: <https://poisk.mts.ru/mts-poisk-authorise/> (дата обращения: 01.02.2024).
4. A. A. Yelizarov, A. D. Kuznetsov, I. V. Nazarov and I. R. Lavrukhin, "Prospects for Applications of Small-Sized Antennas on Flexible Substrates," 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, IEEE, 2020, P.1-4
5. geo-analytics.in - сервис для анализа географических данных и определения расположения объектов Электронный ресурс // Geo Analytics. (б. д.). URL: <https://geo-analytics.in> (дата обращения: 01.02.2024).
6. A. Yelizarov, A. D. Kuznetsov, I. V. Nazarov and I. R. Lavrukhin, "Prospects for Applications of Small-Sized Antennas on Flexible Substrates," 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, IEEE, 2020, P.1-4.
7. Adib, Fadel & Katabi, Dina. (2013). See Through Walls with Wi-Fi!. Computer Communication Review. 43. 75-86. 10.1145/2486001.2486039.
8. A. A. Skuridin, A. A. Yelizarov, I. V. Nazarov, E. A. Zakirova and D.M. Ikonnikova, "A Dual-Band Wi-Fi Rectifying Antenna for RF Energy Harvesting in Cyber Physical Systems", SYNCHROINFO 2021 Systems of Signal Synchronization Generating and Processing in Telecommunications 2021, pp. 1-4.