

Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию С. Сейфуллина = С. Сейфуллиннің 130 жылдығына арналған халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары. - 2024. – Ч.ІІІ. - С. 322-325.

УДК 621.391:004.738.5

ГЕОЛОКАЦИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN В СИСТЕМЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

*Мирманов А.Б., ассоциированный профессор
Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина
г. Астана*

*Аманшайыков Н.Д., Магистрант
«Hangzhou Dianzi University», г. Ханчжоу*

В современном мире с развитием интернета вещей (IoT) растет потребность в энергоэффективных технологиях для мониторинга и отслеживания различных объектов. Одной из наиболее перспективных технологий, используемых для этих целей, является LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). Это беспроводная сеть, предназначенная для передачи данных на большие расстояния с низким энергопотреблением. В отличие от глобальных систем навигации, таких как GPS, LoRaWAN предоставляет возможность отслеживания устройств в условиях ограниченного энергопотребления, что делает ее идеальной для долгосрочного использования в устройствах с батарейным питанием [1].

LoRaWAN — это сеть с большой зоной покрытия и низким энергопотреблением, которая используется для беспроводной передачи данных на большие расстояния. Она находит применение в таких областях, как сельское хозяйство, логистика, умные города и другие IoT-решения. Технология LoRaWAN работает в нелицензированных радиочастотных диапазонах, что позволяет снизить затраты на создание сетевой инфраструктуры. Принцип работы системы LoRaWAN заключается в том, что устройства (узлы) отправляют данные через шлюзы на центральный сервер. Эти устройства могут включать датчики, отслеживающие состояние окружающей среды, перемещения объектов или уровень влажности в почве. Сеть поддерживает как двухстороннюю, так и одностороннюю связь, что делает ее гибкой для различных типов приложений.

Одним из ключевых аспектов применения LoRaWAN является возможность использования ее для геолокации. LoRaWAN предлагает несколько методов для определения местоположения устройств, которые основываются на различных подходах, таких как трилатерация, измерение уровня сигнала и время прибытия сигнала. Геолокация на основе LoRaWAN может быть реализована несколькими методами, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки [2]. Основные из них включают:

1. Детекция приближения

Этот метод основан на определении того, находится ли мобильное устройство вблизи стационарного. При обнаружении приближения стационарное устройство отправляет сигнал, который принимается мобильным устройством. Время и уровень сигнала используются для оценки расстояния между устройствами. Этот метод является простым и недорогим в реализации, однако точность может варьироваться в зависимости от наличия стационарных устройств поблизости и условий распространения сигнала.

2. Геолокация на основе времени прибытия сигнала (TDoA)

Метод TDoA использует разницу во времени прибытия сигнала к нескольким стационарным устройствам для определения местоположения мобильного узла (Рис.1). Для достижения высокой точности необходимо наличие синхронизированных часов на всех устройствах сети. Несмотря на это, данный метод позволяет достичь точности, сопоставимой с GPS, при меньших затратах на оборудование и энергопотребление. Однако отсутствие прямой видимости между устройствами может снизить точность, особенно в условиях городской застройки.

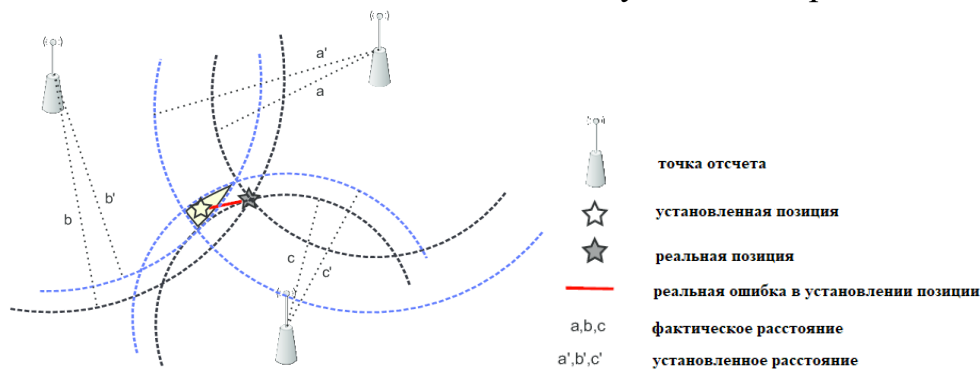


Рисунок 1 - Принцип работы геолокация на основе времени

3. Определение расстояния на основе уровня сигнала (RSSI)

Метод RSSI основывается на измерении уровня принимаемого сигнала для определения расстояния между устройствами (Рис.2). В идеальных условиях прямая зависимость между расстоянием и уровнем сигнала позволяет точно оценить расстояние, однако в реальном мире помехи, отражения и преграды могут значительно исказить результаты [3]. Несмотря на эти ограничения, метод RSSI остается одним из наиболее популярных из-за его простоты и возможности использования с существующими устройствами без дополнительной настройки оборудования.

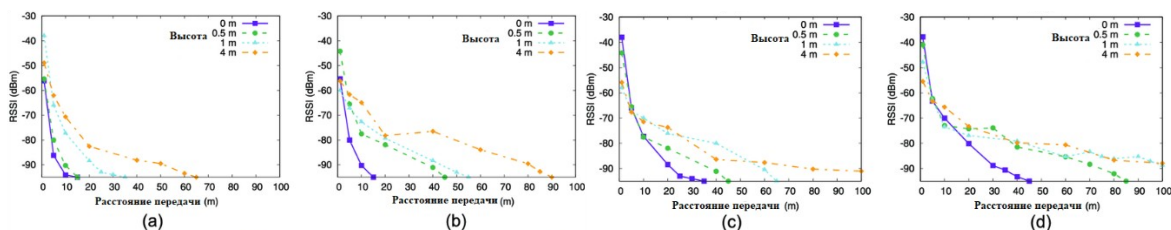


Рисунок 2 - Значение RSSI на приемнике в зависимости от расстояния при различной высоте

Большинство алгоритмов, основанных на мощности сигнала, используют внутренние или наружные модели для определения местоположения, а затем сопоставляют их с помощью заранее определенного теста, чтобы определить, какая модель лучше всего подходит для этого местоположения. Формула (1) используется для расчета уровня сигнала RSSI, для которой учитывая мощности сигналов, возможно определить расстояние между устройствами.

$$P_r = P_t + D_t + D_r + 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4 \pi d} \right), \quad (1)$$

Математическая основа трилатерации для определения местоположения модуля сети LoRa, выглядит следующим образом:

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

x_1, y_1), (x_2, y_2) и (x_3, y_3) — координаты известных точек (узлов).

d_1, d_2, d_3 — расстояния от искомой точки (x, y) до этих известных точек соответственно.

Для оценки точности и эффективности LoRaWAN в задачах геолокации было проведено моделирование сети в среде OMNeT++ с использованием модели FLoRa (Рис.3.).

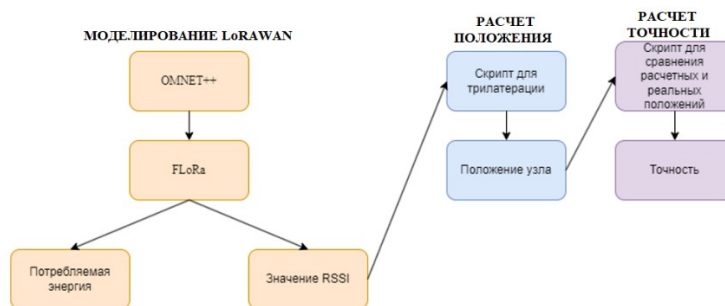


Рисунок 3 - Архитектура модели

Целью моделирования было определить точность местоположения мобильных узлов с помощью методов трилатерации и RSSI. Трилатерация — это метод, основанный на определении местоположения по трем или более известным точкам, при этом измеряются расстояния до этих точек, что позволяет рассчитать положение объекта с высокой точностью.

В рамках моделирования была построена сеть, состоящая из трех стационарных шлюзов, мобильного узла, маршрутизатора и сервера (Рис.4).

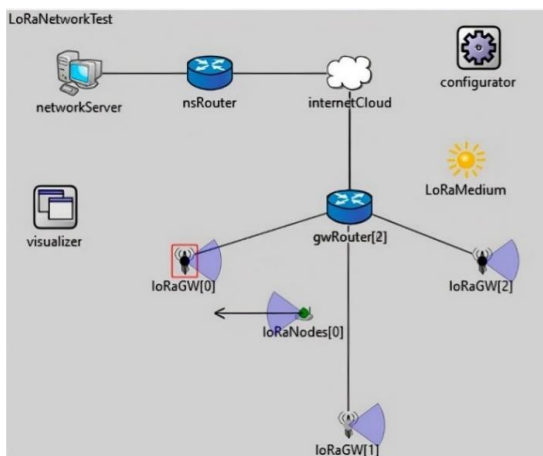


Рисунок 4 - Топология сети с мобильными узлами

Мобильный узел перемещался по круговой траектории, а шлюзы измеряли уровень сигнала (RSSI) и использовали его для расчета расстояния до узла. Данные с шлюзов передавались на сервер, который с помощью метода трилатерации рассчитывал точное местоположение мобильного узла. Моделирование показало, что LoRaWAN может успешно использоваться для геолокации, обеспечивая точность до 20 метров в зависимости от условий среды и конфигурации сети.

На основании проведенного моделирования можно сделать вывод о применимости технологии LoRaWAN для задач геолокации. В ходе экспериментов были протестированы различные параметры сети, такие как длина передачи, количество повторений пакетов, размер кадра и продолжительность моделирования. Основные результаты, полученные в ходе моделирования, заключаются в следующем:

В ходе тестирования удалось установить четкую зависимость между уровнем сигнала (RSSI) и расстоянием до мобильного узла. Как и ожидалось, с увеличением расстояния между шлюзами и узлами уровень RSSI снижался, что демонстрировалось на основе результатов нескольких симуляций (Таблица 1). Эта зависимость подтверждает возможность использования RSSI для оценки расстояний в сети LoRaWAN.

Таблица 1

RSSI, дБ	Расстояние, м	RSSI, дБ	Расстояние, м	RSSI, дБ	Расстояние, м
-105.06	10	-119.04	60	-125.62	110
-111.32	20	-120.88	70	-126.40	120
-114.98	30	-120.66	80	-126.47	130
-115.38	40	-121.72	90	-125.71	140
-117.39	50	-124.76	100		

Моделирование позволило оценить точность методов трилатерации, которые использовались для определения местоположения мобильных узлов на основе данных RSSI от нескольких шлюзов. В таблице 2 представлены данные о погрешности, полученной в результате трилатерации. Ошибка позиционирования составила в среднем ± 20 метров. Для примера, в одном из измерений расчетное положение узла составило (203.17, 138.79), в то время как реальное положение было (185.24, 159.81), что дало ошибку в 27.62 метра.

Таблица 2 - Сравнение позиционирования

Измерение	(x^c, y^c)	(x, y)	Ошибка [м]
1	(203.17, 138.79)	(185.24, 159.81)	27.62
2	(195.63, 127.45)	(191.48, 156.50)	29.34
3	(222.01, 141.99)	(209.84, 160.02)	21.75
4	(188.68, 137.69)	(185.20, 159.85)	22.43

Результаты проведенного моделирования подтверждают, что технология LoRaWAN может успешно использоваться для задач геолокации с низким энергопотреблением. Несмотря на некоторые ограничения в точности определения местоположения и зависимости от условий распространения сигнала, LoRaWAN представляет собой жизнеспособную альтернативу GPS в сценариях, где важны автономность устройств и низкое энергопотребление.

Список литературы

- 1 Мирманов, АБ. (2019). Методика расчета параметров сети LoRaWAN. *Тенденции развития науки и образования*, 55-2, 14-19. DOI 10.18411/lj-10-2019-23.
- 2 Kang, Y.-G., Lee, W.-J., Yim, J.-H. (2022). Development of a LoRaWAN-based Real-time Ocean-current Draft Observation System using a multi-GPS Triangulation Method Correction Algorithm. *Journal of Sensor Science and Technology*, 31(1), 64-68.
- 3 Yi Loor, JD. (2024). Lorawan-Based RSSI-Trilateration Model for Node Location: A Simulation Integrating Flora and Omnet++ / J. D. Yi Loor, A. Espinal, V. Sanchez Padilla. *Transport and Telecommunication Journal*, 25: 2, 218-229.