

Акбаров Абдушукур Абдумалик огли

Студент 2 курса магистратуры Ташкентского университета информационных технологий имени

Мухаммада аль-Хорезми

Эл. Почта: akbarovakbar180@gmail.com

Номер телефона: +998946242246

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМОВ СЛУЧАЙНОГО ДОСТУПА В СЕТЯХ

LORAWAN И WI-FI HALOW В НЕЛИЦЕНЗИРУЕМОМ ДИАПАЗОНЕ

Аннотация: Современное развитие технологий Интернета вещей (IoT) требует эффективных решений для передачи данных в беспроводных сетях, особенно в условиях высокой плотности устройств и ограниченных ресурсов. Одной из ключевых задач при построении таких сетей является обеспечение надежной и эффективной передачи данных в нелицензируемых радиочастотных диапазонах, которые предоставляют возможность снижать стоимость развертывания инфраструктуры. В данной статье рассматриваются механизмы случайного доступа в каналы для технологий LoRaWAN и Wi-Fi HaLow, используемых в таких сетях. Описание математических моделей и численных результатов позволяет выявить особенности и ограничения каждой из технологий при различных уровнях нагрузки, что открывает новые перспективы для проектирования высокоэффективных сетей IoT.

Ключевые слова: Интернета вещей (IoT), LPWAN, ALOHA, Wi-Fi HaLow, EDCA, RAW (Restricted Access Window), TWT (Target Wake Time).

Введение

Сетевые технологии Интернета вещей (IoT) на базе беспроводных сенсорных сетей (БСС) играют ключевую роль в таких сферах, как мониторинг окружающей среды, промышленная автоматизация и умные системы. Эти сети используют миллионы автономных устройств с минимальным энергопотреблением для передачи данных. Одной из важных задач является эффективное управление передачей данных в нелицензируемых радиочастотных диапазонах, таких как 868–870 МГц для LoRaWAN и <1 ГГц для Wi-Fi HaLow. Технологии, работающие в таких диапазонах, имеют особенности и ограничения, которые необходимо учитывать при проектировании сетей с высокой плотностью устройств.

Основные технологии:

1. **LoRaWAN** представляет собой технологию для широкополосных низкоэнергетичных сетей LPWAN (Low Power Wide Area Network), работающую в нелицензируемых радиочастотных диапазонах, таких как 868 МГц в Европе. Она обеспечивает дальность передачи до 30 км при низкой скорости передачи данных (250–11000 бит/с) и минимальном энергопотреблении. В сетях LoRaWAN используется метод случайного доступа ALOHA, что снижает сложность и значительно упрощает реализацию сети, но в условиях высокой плотности устройств может приводить к увеличению числа коллизий.

Метод случайного доступа ALOHA — это метод доступа, при котором устройства передают данные в случайные моменты времени. Если в момент передачи происходит коллизия (два устройства одновременно пытаются передать данные), то кадры должны быть повторно

отправлены через случайный интервал времени. Преимуществом ALOHA является его простота, однако на практике в сетях с высокой плотностью устройств этот метод может вызывать рост числа коллизий, что приводит к снижению эффективности канала.

Для оценки вероятности коллизий в ALOHA используется следующая модель:

$$P_{\text{coll}} = 1 - \exp(-2\lambda T)$$

где: P_{coll} — вероятность коллизии,

λ — плотность трафика (среднее число устройств, пытающихся передать данные за единицу времени),

T — время передачи кадра.

Чем выше плотность устройств, тем больше вероятность коллизии, что, в свою очередь, увеличивает нагрузку на сеть.

Особенностью технологии LoRaWAN является использование ортогональных *сигнально-кодовых конструкций* (Spreading Factor, SF). Это позволяет одновременно передавать несколько сигналов с различными факторами расширения, что улучшает использование канала. Однако, из-за ограничений по времени занятости канала, устройства LoRaWAN могут передавать данные только в ограниченные интервалы времени.

Времени занятости канала можно записать соотношение:

$$S = T/\tau \cdot 100\%,$$

где S – скважность,

τ – время передачи данных,

T — период времени, в котором устройства могут передавать данные (например, для диапазона 868–870 МГц времени занятости канала ограничен 1%).

2. **Wi-Fi HaLow** (IEEE 802.11ah) адаптирован для использования в IoT и работает в диапазоне частот ниже 1 ГГц, поддерживая до 8000 устройств на одну точку доступа. Основной метод доступа к каналу — это Enhanced Distributed Channel Access (EDCA), который использует механизм контроля несущей (CSMA/CA) для предотвращения коллизий. В отличие от LoRaWAN, Wi-Fi HaLow включает расширенные механизмы управления подключением устройств, такие как окна ограниченного доступа (RAW) и назначенные временные интервалы пробуждения (TWT).

Окно ограниченного доступа RAW (Restricted Access Window): позволяет разделить устройства на группы и выделять каждой группе отдельные временные интервалы для передачи данных.

Назначенное время пробуждения TWT (Target Wake Time): минимизирует энергопотребление, договариваясь о времени передачи данных между устройством и точкой доступа.

Сравнительная характеристика сетей на основе технологий LoRaWAN и Wi-Fi HaLow представлена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика технологий LoRaWAN и Wi-Fi HaLow

Характеристика	LoRaWAN	Wi-Fi HaLow
Частотный диапазон	Нелицензируемый (например, 868 МГц)	Нелицензируемый (< 1 ГГц)
Метод доступа к каналу	Асинхронная ALOHA	EDCA (CSMA/CA)
Пропускная способность	250–11000 бит/с	150 Кбит/с – 7 Мбит/с
Дальность передачи	До 30 км	До 1 км
Количество устройств	До нескольких тысяч	До 8000
Энергопотребление	Минимальное	Оптимизированное через RAW и TWT
Ограничения по времени канала	До 1% (duty cycle)	Отсутствуют
Особенности подключения	Простота, ограниченная функциональность	Расширенные механизмы управления подключением
Типичные сценарии	Умные города, агромониторинг, счётчики	Промышленная автоматизация, домашние устройства, сенсоры здоровья

Сравнение технологий LoRaWAN и Wi-Fi HaLow показало, что выбор подходящей технологии зависит от требуемой дальности, плотности устройств, энергопотребления и сложности инфраструктуры. LoRaWAN идеально подходит для приложений с малой плотностью устройств, где важна дальность и минимальное энергопотребление. В то время как Wi-Fi HaLow предоставляет более высокую пропускную способность и сложные механизмы управления каналами, что делает его более подходящим для сценариев с высокой плотностью устройств.

Заключение

Исследование механизмов случайного доступа к каналу в нелицензируемом диапазоне играет ключевую роль в развитии технологий Интернета вещей, где требуется обеспечить эффективную и надежную передачу данных в условиях высокой плотности устройств и ограниченных ресурсов.

Проведённый анализ подтверждает, что выбор подходящей технологии должен основываться на конкретных требованиях сценария применения, таких как дальность, пропускная способность, энергопотребление и плотность устройств. Одновременно с этим сохраняется необходимость разработки гибридных решений, которые могли бы объединить преимущества обеих технологий.

Таким образом, совершенствование механизмов случайного доступа в нелицензируемых диапазонах остаётся актуальной задачей, которая будет определять эффективность будущих сетей IoT и их способность удовлетворять потребности различных отраслей.

Литература:

1. Davronbekov D.A., Xayrullayev A.F., Shuhratov Sh.Sh., Norkobilov S.A. Tor polosali simsiz IoT qurilmalarini identifikatsiya qilish dasturi (Klient qismi) // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 22366. 21.02.2023
2. Davronbekov D.A., Xayrullayev A.F., Shuhratov Sh.S., Xujamatov X.E., Jurayeva N.I. Tor polosali simsiz IoT qurilmalarini identifikatsiya qilish dasturi (Server qismi) // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma. №DGU 22373. 21.02.2023
3. T.Aliev, Kh.X. Madaminov. “Analysis of the Problems and Opportunities of the Built-in Satellite and Terrestrial IoT Networks in the Conditions of the Republic of Uzbekistan”. Journal of Pharmaceutical Negative Results | Volume 13 | Special Issue 10 | 2022 (СКОПУС) p. 439-444
4. Смирнов, В. Интернет вещей и автоматизация офисных процессов. Москва, 2022.
5. Pulatov Sh., Xudayberdiyev N. Ko‘p kirishning zamonaviy usullarini qo‘llash orqali Wi-Fi texnologiyasining o‘tkazuvchanligini oshirish. International scientific journal Science and Innovation special issue “Digital technologies: problems and solutions of practical implementation in the spheres” April 2023. <https://scientists.uz/uploads/journal/20230427SP2.pdf>
6. Ashton, K. That 'Internet of Things' Thing. RFID Journal, 2009.
7. Lee, I., Lee, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. Business Horizons, 2015.