

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ IOT ДЛЯ СЕТЕЙ НЕЛИЦЕНЗИРУЕМОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

Акбаров Абдушукур Абдумалик огли

*Студент 2 курса магистратуры Ташкентского
университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми*

Эл. Почта: akbarovakbar180@gmail.com

Номер телефона: +998946242246

Аннотация: Современные технологии Интернета вещей (IoT) предъявляют строгие требования к выбору сетевых решений, включая расстояние, частоту, скорость передачи данных, энергоэффективность и безопасность. Одним из ключевых факторов при построении IoT-сетей является минимизация энергопотребления при поддержании функциональности. В статье рассматриваются различные технологии для реализации IoT-сетей, включая Wi-Fi и Wi-Fi HaLow, а также их преимущества и недостатки. Подробно анализируются технические характеристики этих технологий, а также их применение в различных сценариях IoT. В заключении подчеркивается важность выбора подходящей технологии для эффективного функционирования IoT-сетей с учетом потребностей конкретных проектов.

Ключевые слова: Wi-Fi HaLow, LPWPAN, Target Wake Time, периодически ограниченного доступа (PRAW)

Введение.

Вопрос о том, как элементы Интернета вещей (IoT) связываются между собой, является важнейшим при построении таких сетей. Одним из наиболее значимых факторов является выбор подходящей сети, отвечающей специфическим требованиям каждого проекта. Среди ключевых характеристик при выборе технологии подключения — дальность связи, частотный диапазон, скорость передачи данных, энергоэффективность и безопасность. В условиях, когда устройства IoT часто работают от автономных источников питания, энергосбережение становится критически важным аспектом для долгосрочной работы сети.

Основные технические характеристики персональных и локальных сетей малой мощности (Low Power Wireless Personal Area Network, LPWPAN) приведены в таблице 1. Таблица 1.

Основные технические характеристики персональных и локальных сетей LPWPAN

Технология	802.15.4	ZigBee, 802.15.4	Thread, 802.15.4	Bluetooth BLE, 4.2	Wi-Fi, 801.11ah
Основной диапазон частот	2,4 ГГц, 915 и 868 МГц	2,4 ГГц		Европа: 5 каналов 863–868 МГц	
Дополнительный диапазон частот	Ultra-Wide-Band (UWB), <1 ГГц, 3–5 и 6–10 ГГц	915 и 868 МГц	США: 26 каналов 902–928 МГц		
Базовый метод	Расширение спектра с кодом прямой последовательности DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)		FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)		OFDM
Модуляция в диапазонах 868 и 915 МГц	Двоичная фазовая манипуляция (BPSK)		BPSK, QPSK, QAM		
Модуляция в диапазоне 2400–2483,5 МГц	Квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом (O-QPSK)		GFSK-модуляция (гауссовская частотная манипуляция)		
Метод доступа	Множественный доступ с контролем несущей и предотвращением конфликтов (CSMA-CA)		DL MU-MIMO		
Интернет-протоколы	6LoWPAN, IPv6 и UDP				
Типовая мощность передатчика	0–1 мВт		От –20 до +10 дБм, (PAVG, EIRP)		100 мВт
Типовой радиус действия	10–75 м		BLE v4.2 — до 150 м		до 1000 м
Скорость передачи	20–256 кбит/с		BLE 4.2 — до 1 Мбит/с (пропускная способность 260 кбит/с)		От 0,15 Мбит/с (1 канал 1 МГц) до 234 Мбит/с (256-QAM, объединение каналов 16 МГц)
Базовая топология	Star, Peer-To-Peer		Mesh	Star, Peer-To-Peer	
Расширенная топология	Mesh (с дополнительным ПО)		Mesh (через IEEE 802.11s)		

Целью настоящего исследования является анализ характеристик различных сетевых технологий для Интернета вещей (IoT), с акцентом на их применение в разнообразных сценариях использования.

Методы

Для анализа были рассмотрены такие технологии, как Wi-Fi и Wi-Fi HaLow. Особое внимание уделено их характеристикам, таким как частотные диапазоны, дальность действия, скорость передачи данных, а также возможностям энергосбережения. В работе использовались данные о характеристиках этих технологий, а также их применении в реальных проектах IoT.

Wi-Fi является одной из наиболее распространенных технологий беспроводной связи. Она работает в диапазонах частот 2,4 ГГц и 5 ГГц, обеспечивая скорость передачи данных до 7 Гбит/с в стандарте IEEE 802.11ac. Wi-Fi технологии обеспечивают достаточно высокую скорость и надежность связи, однако их применение в плотных городских застройках ограничено из-за проблемы интерференции, особенно в диапазоне 2,4 ГГц.

Важным недостатком является высокое энергопотребление, что делает Wi-Fi не идеальным выбором для устройств, работающих от батареи. Существующие методы обеспечения безопасности, такие как WPA2, не всегда обеспечивают необходимую защиту от атак, особенно в открытых сетях.

Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11ah). В 2016 году был анонсирован новый стандарт Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11ah), предназначенный для применения в IoT. Этот стандарт использует частоту 900 МГц, что обеспечивает значительно большую дальность действия и лучшую проникающую способность сигнала в городских условиях. Радиус действия сети может достигать 1 километра, но с платой за это — снижение пропускной способности.

Пропускная способность Wi-Fi HaLow варьируется от 50 кбит/с до 18 Мбит/с, что значительно ниже по сравнению с традиционным Wi-Fi.

Важной особенностью технологии является её способность значительно снизить энергозатраты. Станции в сети Wi-Fi HaLow могут работать от батареи в течение нескольких лет благодаря использованию различных режимов энергосбережения, таких как спящий режим и целевой режим пробуждения (Target Wake Time, TWT).

Стандарт 802.11ah поддерживает топологию "звезда", где устройства подключаются к точкам доступа (RAP). Энергосбережение обеспечивается с помощью уникальных методов передачи данных, таких как распределение каналов через окна ограниченного доступа (RAW и PRAW).

В спецификации 802.11ah предусмотрено распределение станций на группы. При этом доступ к определенной группе разрешается только в определенные моменты времени по заданному маршруту. На рис. 1 показано распределение каналов в окнах постоянного ограниченного доступа (Restricted Access Windows, RAW) и периодически ограниченного доступа (Periodic Restricted Access Windows, PRAW).

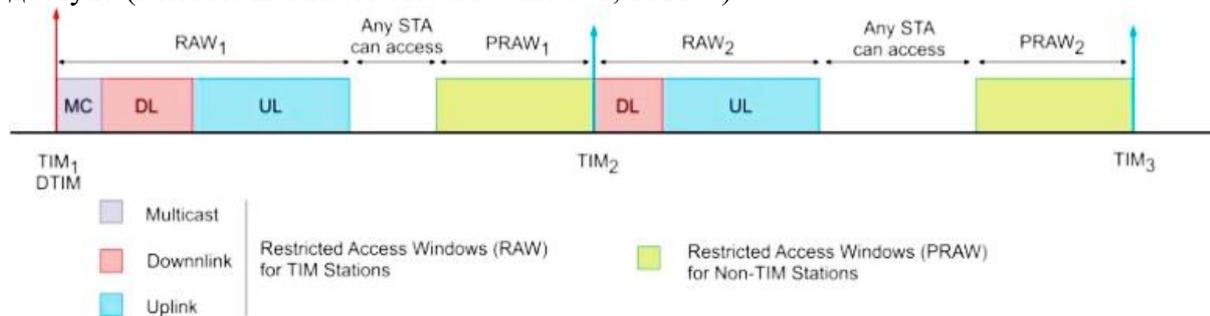


Рис. 1. Распределение каналов в окнах постоянного ограниченного доступа (RAW) и периодически ограниченного доступа (PRAW)

В стандарте 802.11ah описываются три вида сетевых станций. Станции типа Traffic Indication Map (TIM) постоянно находятся в спящем режиме с минимальным энергопотреблением до тех пор, пока RAP не переведет его в активный режим передачи данных. Передача данных для этих станций разрешена в окне ограниченного доступа (RAW) в трех различных сегментах: смешанный (multicast, MC), вниз (downlink, DL) и вверх (uplink, UL). Станции типа Non-TIM stations спят и просыпаются по заранее заданному алгоритму Target Wake Time (TWT). Они напрямую связываются с точками доступа в окне периодически ограниченного доступа (PRAW). Станции типа Unscheduled stations могут самостоятельно выходить в эфир, например в экстремальных ситуациях. Это снижает нагрузку на батареи устройств и улучшает общий срок их службы.

Результаты.

Анализ технологий показал, что Wi-Fi HaLow является более подходящим вариантом для реализации IoT-сетей, особенно когда требуется дальность и высокая энергоэффективность. Однако для высокоскоростных приложений и малых сетей в пределах одного помещения более оптимальным остается использование стандартного Wi-Fi. Ожидается, что с развитием технологий и улучшением методов защиты Wi-Fi HaLow станет важным инструментом для масштабируемых IoT-сетей с требованием низкого потребления энергии.

В современных проектах IoT важен правильный выбор между скоростью передачи данных и энергосбережением. Wi-Fi обеспечивает отличную скорость, но имеет высокое энергопотребление, что ограничивает его использование в автономных устройствах. В свою очередь, Wi-Fi HaLow, несмотря на меньшую скорость передачи данных, предоставляет значительно большую дальность действия и возможность долгосрочной

работы от батареи, что делает его более подходящим для умных городов, промышленного интернета вещей и сельскохозяйственных проектов.

Заключение

В работе были рассмотрены два ключевых стандарта для сетевых соединений в Интернете вещей — Wi-Fi и Wi-Fi HaLow. Оба стандарта имеют свои преимущества и ограничения. Wi-Fi идеален для задач, где важны высокая скорость передачи данных и широкая совместимость, но для автономных устройств с низким энергопотреблением более предпочтительным является стандарт Wi-Fi HaLow. Важно отметить, что выбор сетевого решения для IoT должен базироваться на тщательном анализе потребностей проекта, с учетом таких факторов, как дальность, потребляемая мощность и требования безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wi-Fi Alliance. (2016). "Wi-Fi HaLow and IoT."
2. IEEE 802.11ah. (2016). "Specification for Wireless LANs: Low Power, Long Range."
3. Cisco, Apple. (2019). "Enterprise Best Practices for Apple Devices on Cisco Wireless LAN."
4. Xiao, Y., & Zhang, X. (2021). "Energy Efficiency in IoT Networks: A Survey." IEEE Internet of Things Journal, 8(10), 8219-8233.
5. www.researchgate.net/publication/260268761_IEEE_80211ah_the_WiFi_approach_for_M2M_communications
6. IEEE 802.11ah: Wi-Fi for the Internet of Things, IEEE 802.11 Working Group, 2016.
7. A. B. Jones, "Energy-efficient communication protocols for IoT," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 23, no. 8, pp. 1185-1196, 2021.
8. X. Wang, Y. Wang, "Design of Mesh networks with IEEE 802.11s," International Journal of Communication Systems, vol. 35, no. 7, pp. 2135-2145, 2019.
9. 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>
10. IEEE. IEEE Standard for Wireless LAN in Sub-1 GHz Bands (IEEE 802.11ah), 2017.