

Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей»

Частина 3. Wi-Fi

Володимир Рентюк

У двох попередніх частинах цього огляду були розглянуті загальні питання бездротового зв'язку стосовно «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT) [1] та основні технології ближнього радіуса дії [2]. Однак є така технологія, яка народилася в межах ближнього діапазону покриття, причому майже одночасно з Bluetooth, а потім змогла зробити крок далі — у сферу більшого радіуса дії. Йдеться про Wi-Fi: це досить широка тема, і у зв'язку з величезною популярністю та гнучкістю застосування ця технологія заслуговує на окремий опис. Технологія Wi-Fi, звісно, не обмежена тільки IoT-пристроями, що нас цікавлять, з живленням від батареї, проте має безпосереднє відношення і до цієї сучасної концепції.

ВСТУП ДО WI-FI



Загалом Wi-Fi — це не щось одичне, а велике сімейство стандартів передавання цифрових потоків даних по радіоканалах. Назва цієї технології виникла як похідна від англійського словосполучення wireless fidelity, яке спочатку використовували в рекламних цілях, оскільки воно було співзвучне давно усталеному терміну Hi-Fi зі сфери звукозапису та звуковідтворення, який означав нестандартну апаратуру з високою точністю (high fidelity) відтворення. Як іноді буває в житті, ніхто не думав і не гадав, але саме цей маркетинговий хід закріпився як термін, і іншого ми вже не уявляємо.

Розробка бездротової технології Wi-Fi почалася в 1999 р., коли група

компаній, що стоять біля джерел бездротових технологій, — 3Com, Aironet (нині Cisco), Harris Semiconductor (нині Intersil), Lucent (нині Agere), Nokia і Symbol Technologies, — заснували організацію Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA). Саме вони зареєстрували свою нову технологію під торговою маркою Wi-Fi. У 2000 р. WECA стала частиною Wi-Fi Alliance, що представляє нині промислову групу, до якої входять понад триста компаній — усі основні виробники бездротового обладнання Wi-Fi. Вдало обрана назва технології, як ми бачимо, збереглася і стала торговою маркою тепер уже Wi-Fi Alliance. Основними завданнями цього альянсу є розробка, тестування, сертифікація, підтримка і просування форматів бездротового зв'язку на основі Wi-Fi-протоколів.

Цікаво, що спочатку ніщо не вичувало того, на що зрештою перетвориться ця технологія, оскільки Wi-Fi розробляли з цілком приземленою метою. Але, як і все хороше, грамотно і, головне, вчасно розроблене, він успішно зайняв свою вельми чималу нішу на ринку бездротового зв'язку, причому

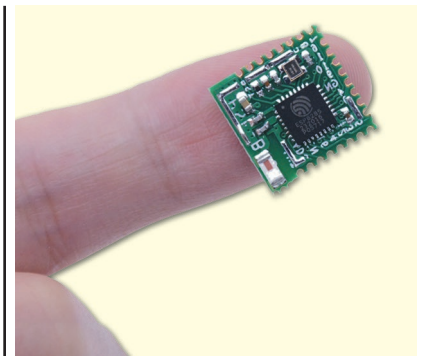


Рис. 1. Модуль Wi-Fi PSF-B85 від компанії ITEAD, що використовує мікросхему ESP8285 з високим ступенем інтеграції [3]

не тільки так званого широкого вжитку, а й індустріального обладнання, IoT і, як уже було сказано, мереж більшого радіуса дії.

Спочатку стандарт Wi-Fi був призначений для заміни мережевого кабелю і використовувався як канал зв'язку між ноутбуками і принтерами. Тому він був розроблений з високою пропускною здатністю каналу передачі даних (від 10 до 50 Мбіт/с) і при цьому на нього не накладали особливих обмежень за потужністю споживання — що зараз є основною вимогою для IoT-пристроїв з живленням від батареї або акумулятора. Крім того, досить вільно визначалися розміри кінцевого рішення. З появою «Інтернету речей» стали доступні найрізноманітніші варіанти виконання Wi-Fi-модулів — наприклад, зовсім не схожі на звичні всім нам роутери (рис. 1). Але будемо справедливі: проблема енергоспоживання поки залишається ахіллесовою п'ятою багатьох протоколів Wi-Fi. Так, представлений на рис.унку 1 мініатюрний модуль під час його використання з

протоколом 802.11b (ССК 1 Мбіт/с, $P_{\text{out}} = 19.5$ дБм) споживає 215 мА, у режимі 802.11n (із пакетами довжиною 1024 біти і $P_{\text{out}} = -65$ дБм) — 102 мА, а в черговому режимі — 70 мА, що явно забагато. Проте, відповідаючи вимогам ринку, з'явилися і рішення зі зниженим енергоспоживанням. Усі старі та нові протоколи, а також особливості реалізації Wi-Fi будуть розглянуті нижче.

У велике і давно сформоване сімейство Wi-Fi входить багато «родичів», імена яких починаються з IEEE 802.11. Саме завдяки тому, що всі вони підпадають під стандарти сімейства IEEE 802.11xxx, технологія Wi-Fi забезпечує рішення майже на будь-який смак [4]. Як і всі вдалі розробки у світі електроніки, Wi-Fi еволюціонує і постійно розвивається в міру появи нових ідей і технологій. Наразі його найпопулярніший різновид працює в ISM-діапазоні 2.4 і 5 ГГц, але з національними обмеженнями.

Попри наявні проблеми, до яких ми ще повернемося, аналітики не справляють за технологією Wi-Fi поминки, а прогнозують їй досить хороші перспективи. Особливо це стосується зростання ринку обладнання Wi-Fi з малим власним споживанням — стосовно теми IoT, яка нас цікавить.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ WI-FI ТА ЇЇ ОСНОВНІ ПРОТОКОЛИ



Під терміном Wi-Fi зазвичай мають на увазі не стільки технології та

протоколи, скільки бездротову локальну мережу (*Wireless local area network (LAN), або WLAN*). Це пов'язано з тим, що найпоширеніше застосування цієї технології — забезпечення пристроям доступу до локальної мережі та Інтернету без прямого підключення через Ethernet-кабель. Мережі Wi-Fi майже скрізь: вони зустрічаються в більшості квартир, офісів і громадських місць і за допомогою смартфона можна практично скрізь знайти потрібну точку доступу.

Оскільки безпосереднє «втілення» технології Wi-Fi в різних формах розпочалося з 1999 р. (сам протокол вийшов у 1997 р.), то для реалізації таких рішень уже є багато постачальників — як окремих мікросхем (чипсетів), так і повністю готових модулів, що дає розробникам широкий вибір можливостей. Однак не можна спокушатися: слід проявляти відому обережність під час оцінювання характеристик компонентів, а особливо приймача. Річ у тім, що залежно від обраного типу мікросхем може сильно змінюватися продуктивність, а саме: діапазон частот, пропускна спроможність, блокування, коефіцієнт помилок під час передавання пакетів і споживання потужності від батареї. Для успішного функціонування пристрою необхідно застосовувати тільки ті компоненти, які відповідають поставленим перед розробником завданням. Оскільки Wi-Fi спочатку був призначений для високошвидкісного передавання даних (10 Мбіт/с), він, як правило, споживає більше енергії, ніж інші протоколи ближнього радіуса дії, тому під час використання основних протоколів розробникам не вдається досягти 10-річного терміну служби в пристроях Wi-Fi для IoT зі стандартними батареями без їхнього підзарядження.

Щоб отримати реальну картину того, як пристрій використовує доступну енергію, і розрахувати термін служби його джерел живлення, необхідно виміряти й оцінити фактичне енергоспоживання пристрою в порівняно тривалому режимі спокою і — відносно нього — дуже коротких активних станів передачі з високим струмом споживання. З іншого боку, оскільки Wi-Fi за своєю природою легко забезпечує підключення до локальних мереж та Інтернету, ринок все ж таки відгукнувся на потребу в підвищенні енергоефективності та запропонував два протоколи Wi-Fi, які хоча б частково вирішують цю проблему. Місце Wi-Fi в IoT-технологіях вдало показано на рисунку 2.

IEEE 802.11b Wi-Fi

Це перший протокол із сімейства 802.11. Його розробили в 1999 р., він діє в ISM-діапазоні з частотою 2.4 ГГц і використовує широкосмугову модуляцію з прямим розширенням спектра (*англ. Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*), що називається також кодуванням із застосуванням додаткових кодів (*англ. Complementary Code Keying, CCK*). При цьому для уникнення конфліктів з іншими пристроями, сумісними з IEEE 802.11b, у даному протоколі передбачено множинний доступ до каналу зв'язку з контролем носійної і запобіганням колізій (*англ. Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA*).

Використання CSMA/CA збільшує споживання енергії від батареї і забезпечує фактичну швидкість передачі даних лише до 6 Мбіт/с. Однак застосування цієї технології під час спільної роботи пристроїв у без того переповненому радіочастотному спектрі є



Рис. 2. Місце Wi-Fi відносно інших бездротових IoT-технологій

більш ефективним рішенням для передачі даних, ніж протоколи без CSMA/CA. На жаль, не всі бездротові протоколи з частотою 2.4 ГГц є «доброзичливими» під час обміну даними, тому використання такого підходу в умовах складної обстановки в ефірі дає певні переваги.

IEEE 802.11a Wi-Fi

Цей протокол працює в діапазоні частот 5 ГГц. Він здатний передавати потоки даних зі швидкістю до 54 Мбіт/с (хоча реальна пропускна здатність каналу зв'язку сягає приблизно половини від цієї швидкості) завдяки застосуванню мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (англ. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM*) і CSMA/CA. Сигнал OFDM є цифровою схемою модуляції, яка використовує безліч близько розташованих ортогональних підносійних, що одночасно переносять частину даних, які проходять лінією зв'язку. OFDM-модуляція також дає змогу компенсувати завади в русі та в умовах багатопроменевого приймання, що може мати місце в будівлях із великою кількістю металевих конструкцій або численними користувачами Wi-Fi.

Особливістю протоколу IEEE 802.11a є те, що для досягнення дієздатної модуляції, а отже, швидкості, приймачі-передавачі на кожному кінці лінії зв'язку з'єднуються, ґрунтуючись на локальному радіочастотному середовищі. Це може бути великою перевагою для пристроїв, яким потрібна висока швидкість передачі даних в умовах зовнішніх завод або для системи з безліччю пристроїв. Висока швидкість в IoT означає коротший час передачі і, відповідно, меншу звантаженість виділеної смуги частот. Крім того, оскільки протокол IEEE 802.11a використовує діапазон із частотою в 5 ГГц, це забезпечує більшу ширину смуги пропускання. Але необхідно враховувати, що сигналу з частотою 5 ГГц потрібні інші умови поширення, а це, природно, впливає на функціонування системи в цілому. Ця ділянка частотного спектра має особливу фізику, тому сигнали такої частоти не будуть проникати в об'єкти так само, як із частотою 2.4 ГГц. Крім того, доступні канали для передавання даних у цій смузі частот залежать від стандартів тієї чи іншої держави, в якій така система розгорнута.

Однак є й інша проблема, яка стосується області частот 5 ГГц. Річ у тім, що в деяких країнах цей діа-

пазон застосовується для трансляції супутникового телебачення, з метою радіолокації тощо. Сигнали від такої техніки можуть вносити завади в роботу Wi-Fi-пристроїв, що використовують специфікацію IEEE 802.11a, тому деякі канали в цій смузі можуть бути їм недоступні. Ці канали можуть бути повністю заборонені для використання у Wi-Fi-пристроях або можуть бути дозволені, але тільки за умови, що пристрої повинні негайно звільнити канали, якщо в них було виявлено радіолокаційний сигнал. Тому в рішеннях, що працюють за протоколом 802.11a, використовується технологія DFS (англ. *Dynamic Frequency Selection — динамічний вибір частоти*). Термін увійшов вжиток ще під час розвитку технології РЛС і має на увазі, що радіостанції (в нашому випадку пристрої Wi-Fi) змінюють канал, зайнятий радіолокатором. Ваше обладнання може перелаштуватися на резервний канал, але водночас під час переналаштування деякі точки доступу з мережі будуть виведені. Можна також вимкнути низку частот і, таким чином, не використовувати DFS у своїх пристроях. Це дасть змогу уникнути завод від радіолокатора і запобігти виникненню в мережі переривань типу hiccup (буквально - гикавки) як наслідку динамічного переналаштування каналів у непередбачувані моменти часу, але водночас, природно, вам буде доступна менша кількість каналів за одиницю часу.

Ще одна проблема щодо IEEE 802.11a полягає в тому, що багато бездротових транзитних мереж також працюють у частотному діапазоні 5 ГГц, тому через високу потужність сусіднього каналу або діаграми спрямованості антени поблизу таких мереж Wi-Fi-пристрої можуть стикатися зі значними завадами. І хоча область 5 ГГц має широкую смугу і, відповідно, достатньо місця для розміщення великої кількості каналів з високою пропускною спроможністю, їй однаково притаманні проблеми, аналогічні для всього спектра частот, що не потребує ліцензування. Про деякі з них ми поговоримо окремо.

IEEE 802.11g Wi-Fi

Цей протокол був запропонований у 2003 р. Він, так само як і IEEE 802.11a, використовує OFDM-модуляцію, але є стандартом сімейства Wi-Fi, що працює в діапазоні 2.4 ГГц. Хоча IEEE 802.11g використовує інший тип модуляції, ніж 802.11b, його можна застосовувати для того, щоб уникнути завод під час

взаємодії в мережі, з пристроями, виконаними відповідно до протоколу IEEE 802.11b. Однак такі змішані системи здебільшого матимуть меншу пропускну здатність, ніж у разі відповідності всіх пристроїв кластера специфікації IEEE 802.11g.

З іншого боку, подібні пристрої Wi-Fi можуть адаптивно змінювати тип модуляції, що сприяє підвищенню пропускної спроможності в сприятливіших радіочастотних середовищах: в ISM-діапазоні 2.4 ГГц максимальна швидкість передачі становить до 54 Мбіт/с.

Також потрібно враховувати, що апаратні засоби або прошивка, необхідні для забезпечення такої універсальності і, отже, складнішої поведінки, можуть вимагати більшого споживання енергії від батареї, ніж простіші протоколи. Тому тут важливо знайти компроміс між необхідною швидкістю передачі даних і складністю технології. Це дасть можливість визначити, який із членів великого сімейства Wi-Fi найкраще підходить для конкретного застосування.

IEEE 802.11n Wi-Fi і IEEE 802.11ac Wi-Fi

IEEE 802.11n Wi-Fi (2009 р.) і IEEE 802.11ac Wi-Fi (2014 р.) є доповненнями до стандартів серії IEEE 802.11. Вони надають складніші та ширші функціональні можливості пристроям фізичного рівня в мережах IEEE 802.11, включно з MIMO (від англ. *Multiple Input Multiple Output*). MIMO — це метод просторового кодування сигналу, що дає змогу збільшити смугу пропускання каналу. Передавання та приймання даних за даними протоколами здійснюються системами з декількох антен із формуванням певної діаграми спрямованості, а також з агрегацією кадрів (фрагментів даних на каналі рівні), що в сукупності забезпечує більш широкомасштабові канали. Однак підвищення швидкості передачі даних вимагає і значно більшої потужності, тому найчастіше ці рішення Wi-Fi використовуються не в самих IoT-пристроях, а в складнішому лінійному обладнанні (бездротових маршрутизаторах), а тому виходять за рамки цього огляду.

Безсумнівно, Wi-Fi досить часто є очевидним вибором для IoT, що ілюструють показані в статті графіки прогнозу застосування цієї технології. Але описані вище обмеження і проблеми призвели до додавання в сімейство стандартів цих двох специфікацій — 802.11ah і 802.11ax. Їхня поява безпосередньо пов'язана з бездротовими технологіями,

що нас цікавлять, у межах «Інтернету речей», де, як відомо, мають місце найрізноманітніші вимоги до підключення з погляду діапазону, пропускної здатності даних, енергоефективності та вартості кінцевого IoT-пристрою.

Wi-Fi HaLow

Одна з нових технологій Wi-Fi, HaLow (рис. 3), заснована на стандарті IEEE 802.11ah, який був ратифікований у жовтні 2016 р. Це перший стандарт Wi-Fi, спеціально розроблений для використання IoT. Він був введений для вирішення проблем діапазону і потужності «Інтернету речей». Протокол 802.11ah використовує ліцензійну смугу частот у субгігагерцовому ISM-діапазоні 900 МГц (конкретна частота залежатиме від країни та регіону). Це дає змогу збільшити радіус покриття й одночасно виконати вимоги щодо зниження споживаної потужності. Використання змовлених періодів пробудження і активності оптимізує енергоспоживання і забезпечує дальність дії в радіусі до милі (близько 1609 м).

Ще одна величезна перевага HaLow — це можливість підключення понад 8 тис. пристроїв з однієї точки доступу. Більше того, стандарт 802.11ah підтримує mesh-мережу, тому тисячі пристроїв можуть послідовно з'єднуватися і об'єднуватися. Мережа з пристроїв технології 802.11ah теоретично може охоплювати все місто. Це робить технологію надзвичайно рентабельною, особливо для постачальників послуг у межах «розумних» міст, оскільки дає змогу так згрупувати станції, щоб звести до мінімуму їхній вплив і розширити зону покриття.

Однак для 802.11ah знадобляться спеціалізовані точки бездротового доступу (або радіостанції всередині точок доступу) і клієнтське обладнання (на відміну від стандартного Wi-Fi), хоча фахівці розраховують на те, що субгігагерцові смуги HaLow будуть вбудовані в уже наявні точки доступу Wi-Fi. Попри те, що протокол 802.11ah було ратифіковано в жовтні 2016 р., щодо реалізації Wi-Fi HaLow поки надійшло дуже мало пропозицій від постачальників мікросхем і модулів. Проте чипсети і програмне забезпечення HaLow доступні вже сьогодні — наприклад, від компанії Newracom.

HEW (802.11ax)

Стандарт високої ефективності (IEEE 802.11ax), що передреє протоколу 802.11ah, також пропонує низку

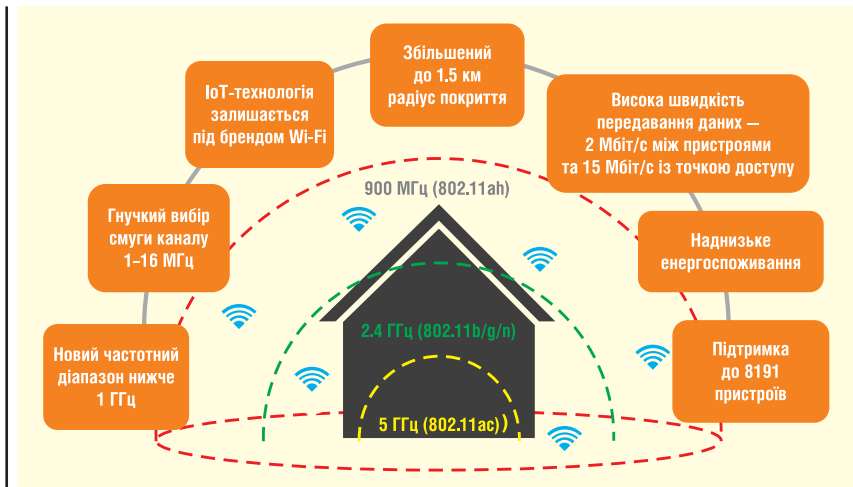


Рис. 3. Порівняння Wi-Fi HaLow з попередніми технологіями Wi-Fi

функцій спеціально для IoT. Він зберігає цільові функції часу і функції групування станцій від 802.11ah, водночас даючи змогу IoT-клієнтам і бути економічними щодо витрат енергії, і уникати колізій (кажучи простою мовою — не заважати один одному в ефірі). Крім того, цей стандарт передбачає багатокористувацькі можливості у вигляді висхідної лінії зв'язку MIMO, як у протоколах 802.11n і 802.11ac, що в поєднанні з меншим інтервалом підносійних (78.125 кГц) дає кільком клієнтам (до 18 користувачів) одночасно надсилати дані каналом зі смугою частот 40 МГц.

Перше голосування за 802.11ax було проведено в період між 1 грудня 2016 р. і 8 січня 2017 р., але не дало позитивних результатів (було запропоновано 7418 коментарів), і повторне голосування було перенесено на осінь 2017 р. Остаточний текст стандарту IEEE 802.11ax було презентовано тільки 2019 р.; на виставці CES 2018 було представлено пристрої, які продемонстрували максимальну швидкість до 11 Гбіт/с. Остаточний протокол 802.11ax затверджено 1 лютого 2021 р.

WI-FI ВЕЛИКОГО РАДІУСА ДІЇ

Як уже було сказано на початку цієї статті, технологія Wi-Fi не обмежується мережами малого радіуса і великою зоною покриття. Голота, як відомо, на вигадки хитра. Було знайдено шпарину: з'явилися постачальники, які надають обладнання для забезпечення бездротового зв'язку на великих відстанях із використанням частот і типів модуляції технології Wi-Fi у поєднанні з більшими й ефективнішими антенами, у деяких випадках вузькоспрямованими.

Крім того, в такому обладнанні, як правило, застосовується технологія, що дає змогу віддаленій точці доступу (у вигляді фізичного пристрою) отримувати електричну енергію разом із даними через стандартну виту пару Ethernet-з'єднання. Ця технологія називається POE (від англ. Power over Ethernet, буквально — живлення через Ethernet). Як уже згадувалося, такі пристрої доступу можуть бути сконфігуровані як з'єднання точка-точка (point-to-point) або як радіально-вузловий багатоточковий зв'язок — точка-мультиточка (point-to-multipoint). Завдяки особливостям реалізації вони дають змогу забезпечити зв'язок у спектрі радіочастот Wi-Fi, що не потребує ліцензування, з дальністю близько 20 км. Однак таке хитре використання неліцензійного спектра може спричинити і значні рівні завад. Проте подібні системи застосовуються постачальниками бездротових інтернет-послуг у смугах 2.4 і 5 ГГц у міських і приміських районах.

Для приватних транзитних мереж таке рішення надає недорогий спосіб ретрансляції даних на великі відстані. Сполучення ретрансляційних станцій з локальною точкою доступу дає можливість швидкого і простого з'єднання з кластером пристроїв з підтримкою Wi-Fi у віддаленій області — наприклад, для рекреаційних або сільськогосподарських потреб. Хоча це має мінімальний стосунок до бездротового «Інтернету речей», що нас цікавить, подібне рішення може бути хорошим інструментом для побудови мереж з великим радіусом покриття від окремого пристрою. Але зі споживанням енергії на рівні ват, вони, найімовірніше, не будуть використовуватися як вузлові IoT-пристрої.

ПЕРЕВАГИ ТА ПРОБЛЕМИ WI-FI ВІДНОСНО IOT І НЕ ТІЛЬКИ

Як відомо, одним зі стовпів, на яких ґрунтується успіх IoT, є потреба під'єднати безліч IoT-пристроїв до решти світу через Інтернет. Можна з упевненістю припустити, що основою для цього стане саме бездротовий зв'язок. Питання залишається в тому, яка з технологій найбільш придатна? Зараз існує багато варіантів, кожен з яких пропонує різні способи встановлення з'єднання для застосування IoT. Найбільш популярними є Wi-Fi, Bluetooth та їхні різновиди, а також LTE на базі стільникового зв'язку. Конкретний вибір залежатиме вже від певних сфери застосування, діапазону і смуги частот, пропускну здатності каналу передачі даних і часу автономної роботи. У якихось випадках, можливо, навіть буде необхідна комбінація технологій. Але це тема вже наступної (і завершальної) частини цієї статті.

Найімовірніше, саме Wi-Fi залишиться однією з найпопулярніших технологій IoT у сегменті ринку обладнання для «розумного будинку», що бурхливо розвивається. Він знаходить у цій галузі найширше застосування, оскільки має цілу низку викладених вище переваг і в цьому разі практично не пов'язаний обмеженнями щодо енергоспоживання, які не характерні або не такі критичні для інтелектуальних домашніх застосувань із живленням від мережі напруги змінного струму. Що стосується Wi-Fi з малим енергоспоживанням, то здебільшого його використовуватимуть у тих випадках, коли достатньо періодичного передавання даних із низькою швидкістю. Це такі сфери застосування, як частина сенсорного обладнання та лічильники в «розумних будинках», переносні та медичні пристрої, а також інші сегменти комерційного та промислового ринків.

Однак ми повинні пам'ятати, що у технології Wi-Fi є і недоліки. Крім високого енергоспоживання, існує ще ціла низка проблем. Перша полягає в тому, що ця технологія, працюючи в спектрі частот, який не потребує ліцензування, як наслідок, піддається підвищеному рівню завад через їхню переважаність.

Друга — оскільки Wi-Fi може безпосередньо і без кабелю підключатися до Інтернету з усіма його загрозами, необхідно приділяти особливу увагу проблемам кібербезпеки. Пристрій Wi-Fi має бути спроектовано так, щоб забезпечити конфіденційність даних і правильну

роботу кінцевого пристрою. Під час масової появи IoT-пристроїв через відсутність на багатьох із них браузерів і клавіатур їхнє підключення до Wi-Fi-мережі з погляду налаштувань політики безпеки було спрощено. У результаті це призвело до атак DoT (DDoS of Things) на IoT-пристрої, і ця проблема все ще до кінця не вирішена.

З огляду на це питання, постачальникам Wi-Fi-обладнання необхідно приділяти більше уваги розробці програмних продуктів, які гарантуватимуть (особливо це стосується індустріального «Інтернету речей»), що IoT-пристрої підключаються лише за дозволеними портами та протоколами. При цьому ще додаються труднощі, пов'язані з широко впроваджуваними хмарними технологіями. В «Інтернеті речей» доступ до хмарного сервера має бути безперебійним, і для цього Wi-Fi-мережі мають стати ще безпечнішими — з можливістю цілодобового моніторингу, керування та самовідновлення.

Ще одна проблема, пов'язана з Wi-Fi, — це конкуренція між ним і LTE. Друга технологія (докладніше її буде розглянуто в четвертій частині огляду) дає змогу використовувати вже наявні мережі стільникового мобільного зв'язку. Але річ у тім, що традиційних частот (800–900, 2 500–2 600 МГц) для LTE недостатньо. Багато операторів зв'язку в низькі регіони вже віддають перевагу LTE в діапазоні 1 800 МГц замість традиційного зв'язку GSM, і тому передача даних сьогодні перевищує голосовий трафік. У зв'язку з чим LTE, а точніше, її різновид LTE-U (LTE-Unlicensed), «замахнулася» на традиційну для Wi-Fi смугу частот у діапазоні 5 ГГц. І Wi-Fi в цьому разі перебуває у важкому становищі: крім того, що стільникові мережі поширені вже практично повсюдно, LTE дає змогу пристроям із низьким енергоспоживанням, які не вимагають високої швидкості, передавати дані у вигляді невеликих пакетів. При цьому LTE має великий діапазон покриття і гарантує IoT-пристроєм тривалий термін служби від батареї.

Що стосується високошвидкісного передавання даних, то LTE забезпечує ефективніше використання спектра радіочастот. Так, за ідеальних умов приймання LTE може розвинути швидкість до 50 Мбіт/с зі смугою 15 МГц на канал, тоді як Wi-Fi хоч і здатний видати до 100 Мбіт/с, але зі смугою каналу 40 МГц.

Проте, у Wi-Fi в цьому розкладі є свій козир: практично у всіх випадках

він є умовно безплатним для користувача, а за використання LTE потрібно регулярно платити. Тож тут місце усвідомленим компромісам. Крім того, Wi-Fi Alliance, до якого приєднався і Google, досить впливовий, і гроші в технологію Wi-Fi вкладено чималі, щоб просто взяти і здатися.

ВИСНОВОК

Технологія Wi-Fi готова вже сьогодні під'єднати мільярди IoT-пристроїв один до одного, до Інтернету і до мільярдів одиниць побутової електроніки, комп'ютерів і промислового обладнання. Висока стійкість Wi-Fi, його гнучкість і придатність для багатоцільового застосування, а також давня прихильність Wi-Fi Alliance до функціональної сумісності пристроїв (незалежно від їхньої версії), які використовують цю технологію, роблять Wi-Fi однією з ідеальних платформ для інновацій у безмежній безлічі технологій «Інтернету речей».

У цій статті ми розглянули одну з основних бездротових технологій, яка забезпечує організацію мереж IoT як на низькому рівні з малою зоною власного покриття, так і для передачі інформації на великі відстані. Однак потрібно визнати, що ця технологія, особливо в останньому варіанті, не є панaceaю. Для «великих даних», що збираються в рамках IoT, та їхнього передавання, часто на величезні відстані, а також для опрацювання, аналізу та подальшого використання інформації для ухвалення рішень, є ще ціла низка спеціалізованих протоколів і технологій. Це стане темою останньої, четвертої частини цього огляду бездротових технологій «Інтернету речей».

Література:

1. Рентюк В. *Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей». Частина 1. Мережі, шлюзи, хмари і протоколи* // CHIP NEWS. 2023. № 4.
2. Рентюк В. *Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей». Частина 2. Близній радіус дії* // CHIP NEWS. 2023. № 5.
3. PSF-B85. <https://wiki.iteadstudio.com/PSF-B85>
4. *The Menu at the IoT Café: A Guide to IoT Wireless Technologies. Application Note. Keysight Technologies. September 10, 2017.* <https://www.keysight.com/zz/en/assets/7018-05810/application-notes/5992-2412.pdf>