

Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей»

Частина 4. Великий радіус дії

Володимир Рентюк

Четверта й остання частина короткого путівника бездротовими IoT-технологіями охоплює пристрої з діапазонами покриття, які в багато разів перевищують описані в [1] за дальністю сталого зв'язку та характерні для розгортання бездротових мереж типу PAN ближнього радіуса дії. У цій статті, присвяченій системам бездротового зв'язку IoT великого радіуса дії, розглянуто стандарти зв'язку, що широко застосовуються та використовують як ліцензовані смуги радіочастотного спектра (NB-IoT і Cat-M1), так і такі, що не потребують ліцензування [2] (LoRa, Sigfox). Не згадана тут технологія Wi-Fi, яка також підходить для систем бездротового зв'язку «Інтернету речей» великого радіуса дії, вже була описана в [3].

Поняття «Інтернет речей» зазвичай співвідноситься зі стандартами, що розглянуті в другій частині цієї публікації [2] і регламентують саме IoT-рішення. Однак є безліч застосувань, у яких технологія «Інтернету речей» потребує значно більшої дальності зв'язку та зон покриття окремими пристроями. Такі мережі з обмеженою потужністю та великим покриттям часто згадуються під аббревіатурою LPWAN (Low-power Wide-area Network, енергоефективна мережа дальнього радіуса дії). Сфери застосування цих мереж включають: медицину (моніторинг стану пацієнтів амбулаторно і вдома), моніторинг ресурсів (контроль якості води, видобуток нафти і корисних копалин), промисловість (моніторинг і контроль на підприємствах, що розосереджені на великих площах), сільське господарство (здоров'я і місцезнаходження тварин, погода, стан рослин і водокористування). Також їх використовують у системах «розумного міста» (транспорт, паркування, якість повітря, облік комунальних послуг), під час моніторингу будівель і споруд тощо. (рис. 1). Крім того, мережі типу LPWAN можуть слугувати точками доступу для збирання

та передавання на великі відстані даних, які зібрані бездротовими датчиками, об'єднаними в мережеві кластери.

Зв'язок на далекі відстані раніше передбачав використання досить габаритних пристроїв з відносно високою потужністю споживання, які досить рідко мали живлення від батарей. Але досягнення в галузі модуляції, розробка і випуск інтегральних схем такої архітектури, як система на кристалі (System-on-Chip, SoC), значно збільшили діапазон роботи пристроїв із низьким енергоспоживанням. Крім того, застосування зв'язку на нижчих, субгігагерцових частотах радіочастотного спектра також дає змогу використовувати специфіку поширення радіосигналів, що може бути додатковою та істотною перевагою під час реалізації мереж дальнього радіуса дії.

Однак за нижчих частот ефективні антени будуть фізично більшими, ніж для радіопристроїв, що працюють у вищій області частот. Так, якщо на частоті 2.4 ГГц звичайна чвертьхвильова антена має довжину 31 мм, то на частоті 915 МГц довжина тієї самої антени становитиме вже близько 82 мм. Проте, для пристроїв з великою дальністю

зв'язку і низьким енергоспоживанням більші й ефективніші антени (якщо вони прийнятні з конструктивної точки зору) можуть виграно збільшити термін служби батареї — за рахунок зменшення потужності випромінюваного радіосигналу, необхідної для забезпечення радіозв'язком потрібної зони покриття.

Застосування IoT-пристроїв з великим радіусом покриття створює можливість для організації сервісів зв'язку на основі попередньої оплати, що дає змогу уникнути проблеми наявності повністю неактивних установок в особистих мережах з малою зоною покриття. Компанії з розвиненою інфраструктурою радіозв'язку і великою зоною покриття, як-от оператори мереж стільникового зв'язку, розгортають сервіси на великих територіях, використовуючи переваги мереж, які вже є в їхньому розпорядженні. Поступово ці нові сервіси, які не потребують високої швидкості передавання даних, охоплюють значні зони покриття, поширюючись не тільки на регіони, а й навіть на цілі країни.

Деяким компаніям для організації таких сервісів достатньо просто оновити програмне забезпечення для наявних базових станцій LTE (*Long-Term Evolution*, буквально — довготривалий розвиток). LTE — це стандарт бездротового високошвидкісного передавання даних для мобільних телефонів та інших терміналів, що працюють із даними. Часто позначається як 4G LTE. Ці рішення, що вимагають ліцензування за зайнятим спектром частот, передбачають різні рівні обслуговування і, відповідно, абонентської плати, тобто підійдуть на будь-який смак і гаманець. Комерційно доступне і вже інстальоване обладнання дає змогу також організувати простий вихід в Інтернет і зв'язок із хмарою. LTE є технологією, яка швидко змінюється,



Рис. 1. Технології LPWAN добре підходять для розподілених застосувань, як-от «розумне місто» (транспорт, паркування, якість повітря, облік комунальних послуг і стічних вод) або медицина (амбулаторний моніторинг стану пацієнтів)

і багато рішень в цій галузі вже доступні розробникам «Інтернету речей».

ЧАСТОТИ, ЯКІ НЕ ПОТРЕБУЮТЬ ЛІЦЕНЗУВАННЯ

LoRa

LoRa (*Long Range*) — це метод модуляції та однойменна мережева технологія, яку просуває відкрита некомерційна організація LoRa Alliance (консорціум). До альянсу входять багато провідних учасників ринку «Інтернету речей»: IBM, Semtech, Cisco, Inmarsat, Swisscom тощо. Технологія LoRa має дещо інший характер, ніж усі описані раніше протоколи бездротового зв'язку малого радіуса дії, тому приділимо їй у цьому огляді найбільшу увагу.

Як правило, під LoRa зазвичай мається на увазі тип модуляції, а під LoRaWAN — відкритий мережевий протокол LoRa, який не треба безпосередньо асоціювати з LPWAN (як уже зазначалося раніше, це будь-яка енергоефективна мережа дальнього радіуса дії). LoRaWAN використовується для передачі невеликих за обсягом пакетів даних на далекі відстані. Така мережа була розроблена спеціально для розподілених мереж телеметрії, міжма-

шинної взаємодії, або так званої M2M (*Machine-to-Machine*), і, власне, «Інтернету речей». Мережа LoRa є однією з найперспективніших бездротових технологій, що забезпечують середовище збору даних з різного устаткування: датчиків, лічильників і сенсорів.

Залежно від регіональних розподілів, у такій мережі використовуються радіочастоти субгігерцового діапазону в спектрах частот, що не потребують ліцензування, у діапазонах VHF (30–300 МГц), UHF (300 МГц–3 ГГц) або 800-930 МГц. Оскільки технологія LoRa застосовує нижчі радіочастоти, ніж стандарти, що використовують частоти 2.4 або 5 ГГц, вона відрізняється від них і за радіочастотними характеристиками, водночас сигнали LoRa можуть проникати глибоко в будівлі та в місця, недоступні більш високочастотним сигналам.

Модуляція LoRa сильно виділяється на тлі інших типів модуляції, представлених у цьому огляді, і є справжнім досягненням у галузі радіочастотних технологій. Більшість стандартів ближнього радіуса дії, як було сказано раніше, використовує той чи інший різновид модуляції FSK, OFDM, FHSS або DSSS з розширенням спектра. LoRa — це набір методів модуляції, запатентованих компанією Semtech, з розширенням спек-

тра за допомогою лінійної частотної модуляції CSS (*Chirp Spread Spectrum*). Загалом суть цього підходу полягає в перебудові носійної частоти за лінійним законом [1].

Завдяки такій перебудові сигнал стає стійким до ефекту Доплера (для мобільних користувачів) і багатопроменевого замирання у радіочастотному середовищі, що відбиває, а також отримує високий рівень завадостійкості. Крім того, за такого методу розширення спектра низькі бітові швидкості (до 300 біт/с) можуть уникнути впливу джерел вузькосмугових завад, таких як FSK-сигнали, і успішно відновитися на приймальній стороні. Це може дати лінії зв'язку LoRa перевагу в 15 дБ порівняно з вузькосмуговим FSK-сигналом у разі використання радіочастотних сигналів однакової потужності. Що стосується шумів, то LoRa може прекрасно і без проблем працювати нижче рівня навколишнього радіочастотного шуму і на 20 дБ або навіть ще нижче щодо вузькосмугових джерел завад — через посилення, властиве цьому виду модуляції з розширеним спектром.

Також технологія LoRa дає змогу використовувати різні комбінації швидкості передавання даних і модуляції. Вони можуть бути обрані виходячи з різних міркувань: наприклад, для збільшення швидкості передачі даних (до 40 Кбіт/с) з меншим діапазоном покриття, коли саме швидкість передачі є критичним фактором, або для досягнення більшої дальності зв'язку з низькою радіочастотною потужністю в зашумлених середовищах. Річ у тім, що при зниженні швидкості передавання даних на один біт припадає більше енергії, і його легше розпізнати на приймальному кінці — отже, за однієї й тієї самої потужності, що споживається, і чутливості приймача дальність зв'язку збільшується. Цікаво, що коефіцієнти розширення спектра LoRa, які називаються SF (*Spreading Factor*), під час передавання даних можуть бути активними в одному каналі, не заважаючи водночас один одному. Оскільки сигнал CSS простіше декодувати, ніж сигнали з іншими технологіями розширення спектра, то це можна зробити і з меншою обчислювальною потужністю. Що, своєю чергою, призводить до збільшення часу автономної роботи пристроїв «Інтернету речей», попри складніше рішення в частині модуляції.

Технологія LoRa фокусується насамперед на фізичних (PHY) рівнях (рис. 2), тобто нижніх у структурі мережі від LoRa Alliance. А для вищих рівнів мережі кон-

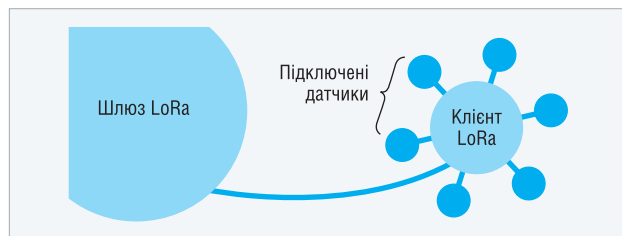


Рис. 2. Організації мережі LoRaWAN: датчики спочатку підключаються до клієнта LoRa і потім через шлюз LoRa передаються на наступний рівень

сорціум визначає специфікації, які залежать від регіону. Дані передаються по радіоканалах LoRa на шлюзи (також їх називають концентраторами), вузли стільників: до них підключаються кінцеві точки, через які пристрої IoT підключаються до Інтернету і хмарних або прикладних серверів. LoRa Alliance також визначає необхідне тестування і сертифікацію, щоб передбачити сумісність різних пристроїв LoRa в мережі. Для забезпечення безпеки мережі та даних у технології LoRa призначені захищені ключі зв'язку — як на рівні мережі, так і на рівні додатків, що стає необхідною умовою, коли радіосигнали поширюються у великій зоні покриття.

Мережа LoRa може бути розгорнута або як окрема мережева архітектура, або як пов'язана мережа в тих районах земної кулі, де є оператори мережі загального користування, — які за оплату забезпечують можливість пристроїв LoRa підключатися через шлюзи для передавання даних у хмару. Мережа на основі технології LoRa вперше була розгорнута в Європі, але вона успішно поширюється і на інші регіони. Крім компанії Semtech, мікросхеми LoRa у вигляді систем на кристали виробляють ST Micro і Microchip, що дає розробникам певну гнучкість у реалізації проєктів на базі технології LoRa.

Однак не можна забувати, що під час застосування цієї технології, навіть якщо використовується спектр частот, який не потребує ліцензування, необхідна сертифікація пристроїв (наприклад, на відповідність нормам, встановленим FCC Part 15.247) і підтвердження того, що конкретний пристрій дійсно відповідає специфікації LoRa. Для сертифікації зазвичай потрібні випробування на потужність передавача, девіацію частоти, займану смугу пропускання, гармоніки і спектральну густину потужності. Сертифікацію LoRa і попереднє тестування вже забезпечує ціла низка авторизованих випробувальних лабораторій.

SigFox

SigFox — це ще одна розробка в галузі технології LPWAN і однойменний сервіс підключення. Певною мірою вона схожа на LoRa, але використовує інший спосіб досягнення аналогічних цілей. Технологію SigFox розробила і запатентувала у 2009 р. невелика французька компанія (всього 80 осіб персоналу) з однойменною назвою, яка у сфері LPWAN співпрацює з низкою великих учасників ринку, таких як Texas Instruments, Silicon Labs і ON Semiconductor. По суті SigFox є пропрієтарним протоколом бездротового мережевого зв'язку для IoT-пристроїв, що працюють у діапазонах до 1 ГГц, і надає мережу стільникових шлюзів, які забезпечують під'єднання до Інтернету і до хмари. Таким чином, це загалом схоже на комерційні мережі LoRa, але не націлене на приватні мережі, де компанія встановлює і сама ж підтримує всю інфраструктуру мережі.

SigFox — це однорангова радіальна, або, як її ще називають, зіркоподібна мережа зі шлюзами, які служать контр-

операми цієї мережі. Подібно до LoRa, SigFox має великий діапазон покриття і їй властиве низьке енергоспоживання. Але якщо розглядати SigFox як радіоканал для передачі даних, то вона радикально відрізняється від LoRa. Для передачі даних SigFox використовує надвузьку смугу частот, так звану Ultra Narrowband (UNB), з дуже низькою швидкістю передачі даних. Протокол SigFox дуже простий. Він не вимагає підтвердження (обміну сигналами для встановлення зв'язку, тобто процедури представлення або взаємного розпізнавання партнерів по зв'язку під час встановлення з'єднання) і передає пакети лише по 12 байт (плюс додаткові дані, як-от ідентифікатор радіозв'язку і час). Як уже було сказано, передача ведеться в дуже вузькій смузі частот, при цьому використовується D-BPSK-модуляція (диференціальна двійкова фазова маніпуляція) зі швидкістю 100 або 600 біт/с. Так, саме — 100 біт/с із шестисекундними циклами передачі. Однак така низька швидкість і вузький частотний спектр дають змогу економити енергію батарей і забезпечують великий радіус покриття технології.

Через вузьку смугу пропускання приймачі можуть мати дуже низький рівень власного шуму, тобто високу чутливість, що досягає близько -140 дБм, і оптичний бюджет близько -160 дБ у разі використання антен з посиленням. Це означає, що при застосуванні технології SigFox без кодування для «Інтернету речей», тобто за допомогою процесорів з невеликою обчислювальною потужністю, при низькій потужності передавача (14 дБм), низьких швидкостях передавання даних, коротких і нечастих, не більш ніж 140 повідомлень на день, можна досягти більшої зони покриття та більш тривалого часу автономної роботи вузла мережі. Завдяки всім цим характеристикам SigFox може бути найефективнішим рішенням з усіх наведених у цьому огляді технологій побудови LPWAN. Мережі SigFox відносно «Інтернету речей» почали свій розвиток у Франції, але вже використовуються в багатьох країнах світу з постійним розширенням.

ЧАСТОТИ, ЩО ПОТРЕБУЮТЬ ЛІЦЕНЗУВАННЯ

Будь-які наявні бездротові технології передавання даних мають такі характеристики, як дальність, швидкість і енергоефективність, причому одночасно підтримувати на високому рівні можуть лише дві з них. У рамках теми «Інтернету речей», що нас цікавить, найбільшу важливість, як правило, мають дальність і енергоефективність. Одним із відповідних для цього рішень є використання технології LTE.

Розглядаючи технологію LTE, ми зупинимося на застосуванні для потреб IoT спектра частот, що потребує ліцензування: він належить до мереж стільникового зв'язку, і оператори отримують дозвіл на доступ і його використання в рамках надання бездротової телефонії, а також голосових та інформаційних сервісів. Голосові виклики і дані такими мережами передають смартфони, якими нас уже не здивуєш. Ці «розумні» телефони здатні до високошвидкісної передачі даних, але не вирізняються тривалим часом автономної роботи, що вимагає майже щоденного заряджання їхніх батарей.

LTE-мережі стільникового зв'язку пропонують нові сервіси та низькошвидкісні режими передачі даних. З огляду на те, що стільникові мережі поширені практично повсюдно, такий підхід дає змогу пристроям із низьким енергоспоживанням передавати ними дані, маючи водночас великий діапазон покриття і тривалий термін служби батарей. Однак, як уже було сказано, економія батарей означає і меншу швидкість

передачі даних. Основними пропозиціями в рамках LTE для розробників «Інтернету речей» є відносно повільний стандарт NB-IoT і швидший Cat-M1, що дає відому гнучкість у прийнятті рішень.

NB-IoT

NB-IoT (*Narrow-Band Internet of Things*, вузькосмуговий Інтернет речей) — це доповнення до технології бездротового Інтернету, що являє собою стандарт стільникового зв'язку для пристроїв телеметрії з малими об'ємами передачі даних. Він був створений у рамках роботи над стандартами стільникових мереж нового покоління заснованим у 1998 р. консорціумом 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). Технологія NB-IoT є частиною ініціативи мобільного «Інтернету речей» (*Mobile IoT*) компанії GSMA, спрямованої на те, щоб надати користувачам недорогі лінії зв'язку з низьким енергоспоживанням для IoT-мереж із застосуванням стандартів стільникового зв'язку.

Технологія NB-IoT, як уже було сказано, має низьку швидкість передачі даних, але велике покриття — завдяки використанню можливостей LTE-мереж. Оскільки в такому випадку застосовується спектр частот, що вимагає ліцензування, за доступ до якого оператори стільникового зв'язку платять мільярди доларів, то вони, звісно, стягують плату і за використання їхніх каналів для передавання даних. Крім того, вони наполягають ще й на суворому тестуванні неспецифічної для них апаратури на відповідність вимогам стандартів і необхідної сертифікації. Що, звісно, також передбачає і гарантію високої надійності. Технологія NB-IoT пропонує покриття буквально в національному масштабі. Цього можна досягти завдяки не тільки використанню вже наявної інфраструктури стільникової мережі, а й особливостям вузькосмугового радіочастотного сигналу. Тож у результаті охоплення буде навіть більшим, ніж у випадку стільникової телефонії. NB-IoT передбачає швидкість передачі даних від 20 до 250 Кбіт/с — залежно від того, які ресурси LTE-мережі використовуються.

Оператори деяких стільникових мереж можуть додавати в них NB-IoT, лише оновлюючи програмне забезпечення для свого обладнання, тож дана технологія розгортатиметься досить швидко. Оскільки це лише розширення вже наявних стандартів, то випробувальне обладнання та програмне забезпечення для перевірки відповідності NB-IoT їхнім вимогам уже доступні.

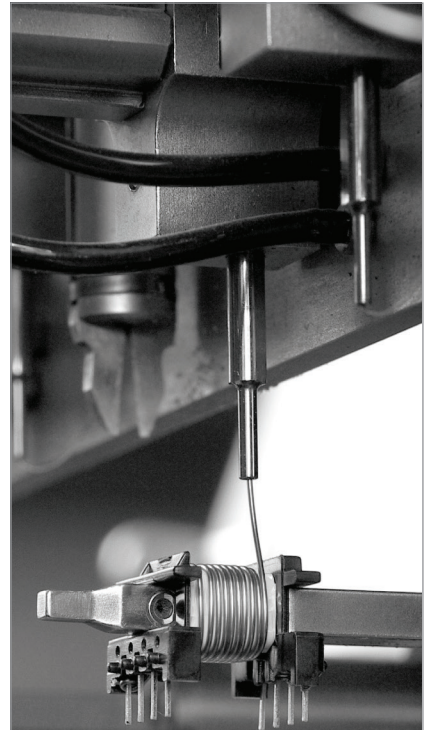
Є й інструменти для моделювання та перевірки рішення. Крім того, розробникам пристроїв цієї технології вже доступні готові модулі, які забезпечують належне функціонування кінцевого обладнання в стільникових мережах.

Cat-M1

Cat-M1 — ще одна технологія бездротового зв'язку, розробивши яку, компанія Gemalto в партнерстві з Sequans Communications здійснили революцію у сфері підключення до «Інтернету речей» за технологією LTE. Як і у випадку з NB-IoT, тут також використовується спектр частот LTE-мережі стільникового зв'язку, що вимагає ліцензування. У напівдуплексному режимі технологія Cat-M1 забезпечує швидкість передачі даних до 1 Мбіт/с. Оскільки використовується стільникова мережа, то застосовується абонентська плата за відповідні швидкості передавання даних, але Cat-M1 передбачає більшу швидкість передавання даних, ніж пристрої NB-IoT. Деякі застосування, які потребують такої швидкості та охоплення на рівні наявної стільникової інфраструктури, знаходять у технології Cat-M1 оптимальне рішення.

Гібридні мережі

Гібридні мережі об'єднують протоколи мереж ближнього і дальнього (LPWAN) радіусів дії в загальну мережу. Локальні кластери IoT-пристроїв переносять дані на центральний вузол з використанням, наприклад, технологій Bluetooth або ZigBee, де їх агрегують і передають для подальшої ретрансляції в мережі з великим діапазоном покриття, як-от LoRa або Cat-M1. Це практична модель організації мереж збору даних про надані комунальні послуги, такі як водо- та газопостачання, облік електроенергії тощо. Вона використовується для збору даних з лічильників у вигляді IoT-пристроїв, що застосовують технології бездротового зв'язку ближнього радіуса дії, об'єднані в кластери та mesh-мережі, а потім періодично надсилають результати в хмару за допомогою бездротових або дротових мереж дальнього радіуса дії. Цей підхід дає можливість використовувати безліч недорогих пристроїв, які споживають мало енергії. Застосування таких гібридних рішень дає змогу організувати не тільки збір «великих даних» для аналізу, а й їхній моніторинг у реальному часі. Завдяки цьому можна, наприклад, підвищити якість надання комунальних послуг у рамках «розумних міст», а також отри-




**ТОВ «АДС ТІМ» —
ВЛАСНЕ ВИРОБНИЦТВО
В УКРАЇНІ МОТОЧНИХ ВИРОБІВ**

ЗГІДНО ДОКУМЕНТАЦІЇ
АБО ЗА ТЕХНІЧНИМ ЗАВДАННЯМ

www.adcgr.com

**тел. +38 044 206 22 52
моб. +38 067 249 77 58
+38 050 464 22 52**

мати ефективну технологію для сільськогосподарства і промисловості.

Розглянемо комбінацію технологій ZigBee і Cat-M1 у гібридній мережі для моніторингу та виставлення рахунків за комунальні послуги. В такому разі ZigBee може слугувати найнижчим фізичним шаром, пов'язуючи кілька десятків недорогих і близько розташованих лічильників води з надійною комірчатою мережею. Ця мережа передає дані в агрегатор на Cat-M1, який, своєю чергою, періодично під'єднується до стільникової мережі для надсилання звітів про спожиту воду і стоки. Швидкості передавання даних у такій комбінованій системі будуть низькими (можливо, лише один звіт на день на кожний лічильник), хоча в надзвичайних або виняткових ситуаціях, якщо лічильники є інтелектуальними і можуть змінювати режим роботи за командою, оновлення даних будуть доступні майже миттєво. Низькорівнева комірчата мережа на основі технології ZigBee досить надійна і здатна підтримувати зв'язок з більш віддаленими лічильниками в разі відмови вузла, що досягається шляхом динамічної реконфігурації мережі. З'єднання Cat-M1 має надійність на рівні стільникової мережі, а будь-яке втручання і можливу втрату даних можна швидко усунути завдяки ретельно контролюваному інтерфейсу стільникової системи, що застосовується в рамках «Інтернету речей».

Візьмемо інший приклад, щоб показати можливості використання гібридної IoT-мережі в рамках сільськогосподарського підприємства, а саме в складі контрольно-вимірального обладнання для системи зрошення. Як датчики витрати води в насосах, трубах і зрошувальних пристроях, а також як датчики руху і деформації опорних конструкцій можуть застосовуватися пристрої з Bluetooth або ZigBee. Припустимо, що вони живляться за рахунок збору вільної енергії (*energy harvesting*) — наприклад, використовуючи енергію води, що циркулює в системі поливу. IoT-пристрої повідомляють поточні дані про умови функціонування в мережу дальнього радіуса дії і далі в інтегроване програмне забезпечення керування фермою в хмарі. Таким чином, контроль і керування подачею води для зрошення здійснюються на основі вартості енергії, поточних і прогнозованих погодних умов з урахуванням вологості ґрунту тощо. Фермер, де б він не перебував, може отримувати звіти на смартфон і точно знати, коли система поливу не працює, або — в тому разі, якщо ціна

на електроенергію змінюється — визначити інші умови вирощування сільськогосподарських культур з використанням поточних даних.

ВИБІР БЕЗДРОТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРОЄКТУ

Цей огляд не буде повним без згадки про те, що повинен зробити розробник для впровадження свого IoT-пристрою з використанням призначеного для користувача протоколу на будь-якій ділянці спектра частот, яка потребує або не потребує ліцензування. Такі продукти присутні на ринку вже багато років, і деякі з'явилися ще до того, як «Інтернет речей» з концепції перетворився на технологію, яку можна реалізувати на практиці, і його почали застосовувати у сфері медицини, для моніторингу будівель і споруд та в цілому ряді інших застосувань. Що стосується можливостей для організації каналів передачі даних, то сучасним розробникам доступний широкий вибір. Якщо говорити про бездротові технології IoT, які є темою цієї серії статей, то, наприклад, у США є багато частот, що відрізняються від звичайних і не потребують ліцензування, в діапазоні 915 МГц, 2.4 ГГц і 5.7 ГГц. Тому в рамках нормативних вимог FCC CFR 47 Part 15, тобто для використання з обмеженим регулюванням у частині характеристик сигналу, доступні десятки діапазонів. При цьому виділено певні смуги для медичних пристроїв «Інтернету речей» конкретного призначення.

Залежно від цільового ринку і необхідного спектра частот розробник може вибрати потрібні типи модуляції і бездротові протоколи для задоволення тих чи інших ключових вимог до своїх IoT-пристроїв. При цьому зараз доступні широкі можливості для виготовлення пристроїв під особливі вимоги замовників, але в цьому випадку передбачено менше стандартних рецептів, тому перевірка і тестування кінцевих продуктів будуть виконуватися з використанням більш універсального тестового обладнання та програмного забезпечення. Заглиблення в ці питання, потрібне більш досвідченим розробникам, — це вже тема для окремої статті.

ВИСНОВОК

Незалежно від того, ближнього чи великого радіуса дії пристрій, чи працює він у ліцензованому або такому,

що не потребує ліцензування, діапазоні частот, «Інтернет речей» безумовно стане важливою частиною нашого життя вже протягом найближчого десятиліття. Це пов'язано з тим, що він відкриває багато нових можливостей, які забезпечуються саме завдяки недорогому бездротовому підключенню. Використовуючи свій потенціал, «Інтернет речей» може не лише покращити якість життя людей і підвищити ефективність виробництва та продуктивність праці, а й врятувати багато життів. Розробники обладнання та пристроїв у цьому напрямі техніки та технологій знаходять все нові й нові творчі застосування для недорогих автоматизованих комунікацій. Тому їм важливо знати про доступні зараз бездротові технології «Інтернету речей». Це допоможе не тільки розробляти і тестувати нові пристрої, а й швидко виводити їх на ринок, до того ж з гарантією надійної роботи і сумісності функціонування з іншим обладнанням.

Безсумнівно, конкуренція між технологіями і виробниками може зіграти на руку як розробникам, так і користувачам інтелектуального, або смартобладнання, в тому числі підключеного до IoT. Однак при цьому не варто забувати, що миттєва вигода від невиваженої переваги однієї з технологій може створити багато проблем у майбутньому. Недарма англійське слово *smart* означає не тільки «розумний, інтелектуальний», а й те, що може викликати пекучий біль.

Як було сказано в першій частині цієї серії статей, у путівнику не ставилося завдання осягнути неосяжне — читачам було дано тільки загальну інформацію щодо доступних рішень бездротового зв'язку для «Інтернету речей». Для отримання більш детальних відомостей слід звертатися до чинних на поточний момент міжнародних версій відповідних офіційних стандартів і протоколів, обов'язково враховуючи накладені на них національні обмеження.

Література:

1. Рентюк В. Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей». Частина 2. Близький радіус дії // CHIP NEWS. 2023. № 5.
2. Рентюк В. Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей». Частина 1. Мережі, шлюзи, хмари і протоколи // CHIP NEWS. 2023. № 4.
3. Рентюк В. Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей». Частина 3. Wi-Fi // CHIP NEWS. 2024. № 1.