

Тема 12. Технології та протоколи передачі даних на довгі відстані в IoT мережах

В найближчому майбутньому до Інтернету речей будуть підключені велика кількість пристроїв. Більша доля цих пристроїв буде мати живлення від батарейок. У зв'язку з цим, однією з основних характеристик є тривалість роботи обладнання без втручання людини.

Для того щоб розв'язати цю проблему були створені нові мережі спеціально для IoT. Ці мережі називаються LPWAN (Long Power Wide Area Network). Основними технологіями цих мереж є NB-IoT, Weightless, LoRa, SIGFOX та інші. Ці технології з'явилися через те, що необхідно буде підключати велику кількість датчиків та приладів для централізованого збору інформації на хмарних серверах. Надалі буде наведено основні технології мережі LPWAN.

Технологія LoRaWAN

Поява технології LoRaWAN викликало великий резонанс на ринку бездротового зв'язку, що спричинило необхідність прийняти єдиний стандарт для глобальних мереж з низьким енергоспоживанням - LPWAN (Low Power Wide Area Network).[10] Абревіатура LoRa об'єднує в собі метод модуляції LoRa у бездротових мережах LPWAN, розроблений Semtech та відкритий протокол LoRaWAN.

LoRa (Long Range) - це технологія і однойменний метод модуляції. Метод модуляції LoRa запатентований компанією Semtech, заснований на технології розширення спектру (spread spectrum modulation) і варіацію лінійної частотної модуляції (chirp spread spectrum, CSS), за якої дані закодовано широкосмуговими імпульсами з частотою, що збільшується, або зменшується на деякому тимчасовому інтервалі.

Таке рішення, на відміну від технології прямого розширення спектра, робить приймач стійким до відхилень частоти від номінального значення та спрощує вимоги до тактового генератора, що дозволяє використовувати недорогі

кварцові резонатори. LoRa використовує пряму корекцію помилок (forward error correction, FEC), працює в субгігагерцовому діапазоні частот.

LoRa дозволяє демодулювати сигнали на рівні 20 дБ нижче рівня шумів, тоді як більшість систем з частотною маніпуляцією (frequency shift keying, FSK) можуть коректно працювати з сигналами на рівні не нижче 8-10 дБ над рівнем шумів. Модуляція LoRa визначає фізичний рівень, який може використовуватися в мережах з різними архітектурами: mesh-мережі, зірка, точка-точка та інші.

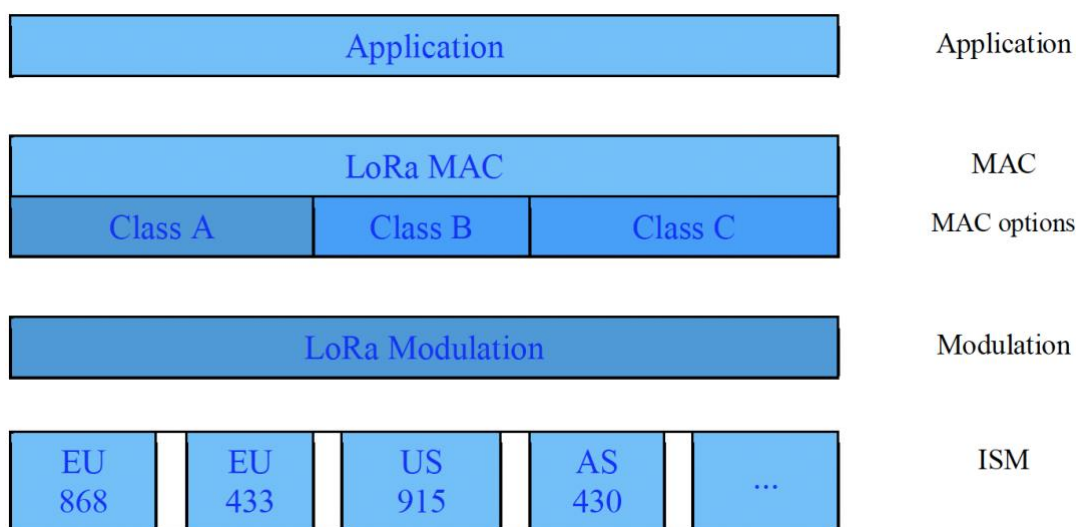


Рисунок 12.1 – Архітектура технології LoRaWAN

Завдяки своїй високій чутливості (148 dbm) LoRa ідеально підходить для пристроїв з вимогами низького споживання електроенергії та високої стійкості зв'язку на великих відстанях.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) — відкритий протокол канального рівня для мереж з високою ємністю та великим радіусом дії і низьким власним використанням енергії, який LoRa Alliance стандартизувала для мереж LPWAN.

Разом з протоколом LoRaWAN можуть працювати декілька видів пристроїв.

Ці пристрої в LoRaWAN поділяються на:

- Двонаправлені кінцеві пристрої "класу А" (Bi directional End Devices, Class A). Подібні пристрої застосовуються, коли вимагається підтримувати мінімальну потужність при переважанні передачі даних з сервером.

Кінцевий вузол ініціює сеанс зв'язку шляхом відправки пакету даних, після чого виділяє два вікна, в перебігу яких чекає дані від сервера. Відповідно, можливість передачі даних між сервером і кінцевим пристроєм виникає тільки після відкриття сеансу кінцевим пристроєм.

- Двонаправлені кінцеві пристрої "класу Б" (Bi directional End Devices, Class B). Відрізняється від пристроїв "класу А", оскільки має можливість за розкладом відкривати додаткові вікна прийому. Для складання розкладу кінцевий пристрій здійснює синхронізацію за спеціальним сигналом від шлюзу. Таким чином, наявність додаткового вікна надає змогу серверу обмінюватися даними у попередньо обумовлений момент часу.
- Двонаправлені кінцеві пристрої "класу С" з максимальним приймальним вікном (Bi directional End Devices, Class C). Відрізняються практично безперервним вікном прийому даних і закривають його лише на час передачі даних. Така особливість, дозволяє застосовувати їх для вирішення завдань, пов'язаних з великим обсягом даних.

Архітектура мережі LoRaWAN

Архітектура LoRaWAN складається з таких основних елементів: кінцеві вузли, шлюзи, мережевий сервер, а також сервер додатків.

Кінцеві вузли (End Nodes) - пристрої, що здійснюють, вимірювання, контроль та управління. Вузол складається з наборів датчиків вимірювання та керуючі елементи. Мають зазвичай живлення від батарейок. Для того щоб економити енергію вузли виконують передачу даних на деякий невеликий проміжок часу, після чого відкривається два тимчасові вікна для прийому даних.

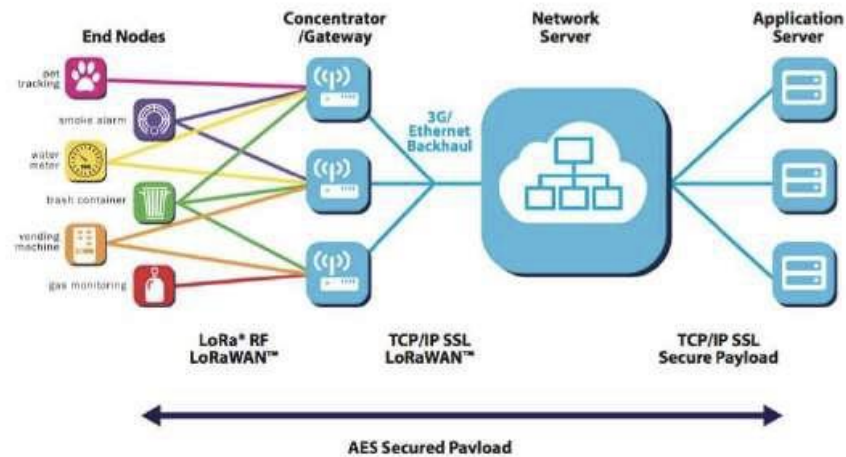


Рисунок 12.2 – Архітектура мережі LoRaWAN

Шлюз LoRa (Gateway/Concentrator) - це пристій, який приймає дані через радіоканал від кінцевих пристроїв та передає їх в транзитну мережу. До транзитних мереж можна віднести WiFi, Ethernet, стільникові мережі і будь-які інші телекомунікаційні канали. Кінцеві пристрої та шлюз утворюють мережеву топологію типу — зірка. Доволі поширеним є те, що пристій складається з багатоканальних пристроїв прийому та передачі, це дозволяє обробляти сигнали, які одночасно надходять по декількох каналах, або кілька сигналів, отриманих від одного каналу.

Таким чином, кілька схожих пристроїв можуть забезпечити повне покриття мережі і прозору двонаправлену передачу даних між мережевим сервером та кінцевими вузлами.

Мережевий сервер (Network Server) — віддалений центр управління мережею. За його допомогою відбувається регулювання швидкості, аналіз, обробка та зберігання даних, що були прийнятими з шлюзу.

Сервер програм (Application Server) - пристрій для збору інформації з кінцевих вузлів та віддаленого контролю їх роботи.

Один LoRa-шлюз допускає обслуговування до п'яти тисяч кінцевих пристроїв, що досягається за рахунок:

- Особливостей топології мережі.

- Адаптивної швидкості передачі даних і адаптивної вихідної потужності пристроїв, що задаються мережевим вузлом.
- Тимчасовим поділом доступу до середовища.
- Частотним поділом каналів.
- Особливістю LoRa модуляції, що дозволяє в одному частотному каналі одночасно демодулювати сигнали, що передаються на різних швидкостях.

Технологія SigFox

SigFox - це технологія, яка приносить нову мережу та інформаційну стратегію IoT. Розробник, група з Labège, Франція з однойменною назвою, SigFox - це мережевий оператор, який займається впровадженням IoT у бізнес індустрію. Архітектура мережі SigFox досить сильно схожа на мережі стільникових операторів зв'язку таких як GSM та GPRS, але являється менш затратною та більш енергоефективною.

Зона, яку покриває SigFox складає близько 30-50 км в міській та сільській місцевості.

В містах де дуже багато шумів, діапазон роботи 3-10 км.

На рис. 12.3 представлена архітектура мережі технології SigFox. Загальна топологія мережі була розроблена для забезпечення масштабованої, високопродуктивної мережі, з дуже низькою витратою енергії.



Рисунок 12.3 – Архітектура мережі SigFox

SigFox використовує надвузьку смугу частот UNB (Ultra Narrow Band), на основі радіо технології для підключення пристроїв до глобальної мережі. Використання UNB – ключовий фактор у забезпеченні дуже низького рівня потужності передавача, який буде використовуватися під час стану підтримки надійного з'єднання для передачі даних.

У Європі широко використовується діапазон 868,8 МГц (як визначено в ETSI і CEPT), а у США 915 МГц (як визначено FCC).

Пристрої передають свої повідомлення до базової станції SigFox. За допомогою point- to-point (P2P) протоколу на базову станцію Sigfox підключають до своєї Інтернет бази даних, після отримання і декодування повідомлення, дані надсилаються до її Інтернет бази даних. Нарешті, хмарний сервер SigFox посилає повідомлення на клієнтські сервери та ІТ платформи через інтерфейси прикладного програмування (APIs).

Технологія SigFox спрямована на низьку вартість пристроїв, де потребується широка зона покриття.

Є цілий ряд додатків, яким необхідна ця технологія бездротового зв'язку. Області, в яких можуть бути використані мережі SigFox включають в себе:

- дім та споживчі товари;
- енергетичні комунікації;
- охорона здоров'я;
- транспорт;
- віддалений моніторинг та контроль;
- безпека.

Стандарт має ряд переваг у порівнянні з іншими базовими технологіями LPWAN мереж. Серед переваг SigFox можна відзначити:

- велика зона покриття;
- висока проникаюча спроможність;
- довга робота від однієї батареї, приблизно до 20 років роботи сенсора від 2-х батарей AA;
- наднизьке енергоспоживання;

- низька вартість.

Як і всі технології сучасного світу, енергоефективна мережу SigFox, на жаль, також має і негативні характеристики:

- низька швидкість передачі даних;
- залежність від стільникової інфраструктури;
- обмежена завадостійкість.

Більшість країн Європи та США використовують саме цю технологію.

Стандарт NB-IoT

NB-IoT - стандарт стільникового зв'язку створений для приладів телеметрії з низьким об'ємом передачі даних. Створений 3GPP, як розвиток мобільних стільникових мереж перша версія цього стандарту була представлена в 2016 році.

NB-IoT, або ще його називають стандарт LTE-CAT. M2, має досить велику кількість переваг таких, як низьке енергоспоживання, яке гарантує час роботи батареї до 10 років, широку зону покриття, можливість швидкої модернізації мережі, а також високу надійність.

NB-IoT — це розвиток стільникового зв'язку, який дозволяє операторам працювати з такими напрямками IoT, як системи інтелектуального відслідковування та обліку. Технологія NB-IoT розглядається як еволюція від стільникового зв'язку до Інтернету речей. Це бездротова різновидність глобальних мереж з низьким споживанням енергії і зроблена для взаємодії між додатками M2M.

Для NB-IoT можуть використовуватися практично всі ті самі діапазони частот, що і для 2G/3G/4G в "низьких" діапазонах. Це 20 діапазон (800МГц), 8 діапазон (900МГц), 3 діапазон (1800МГц). Більш високі частоти сенсу використовувати немає через більше затухання сигналу.

Є три способи виділення частотного ресурсу для NB-IoT:

- Stand – Alone (автономний).

Виділений частотний канал шириною в 200кГц. Цей варіант найбільш ефективний для роботи NB-IoT, але й найбільш витратний. Справа в тому, що в цьому випадку може знадобитися від 300 до 600 кГц дуже цінного спектру разом із захисними інтервалами. В цьому випадку взаємні інтерференції з іншими технологіями мінімальні (рис. 12.4.).

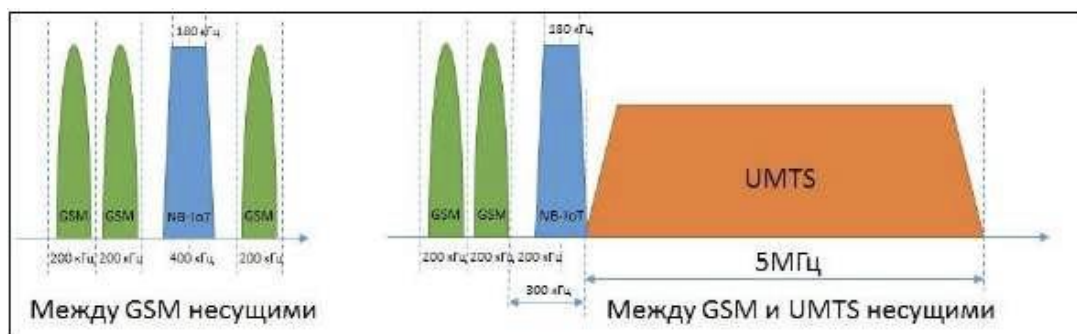


Рисунок 12.4 – Розміщення NB-IoT в режимі Stand – Alone

– In Band(в середині полоси)

У цьому випадку для NB-IoT виділяються ресурси всередині існуючої LTE несучої, але NB-IoT несуча має підвищену потужність на 6дБ порівняно з ресурсними блоками LTE. Цей варіант добре підходить для економії частотного ресурсу, але при цьому є проблема взаємного впливу з LTE мережею

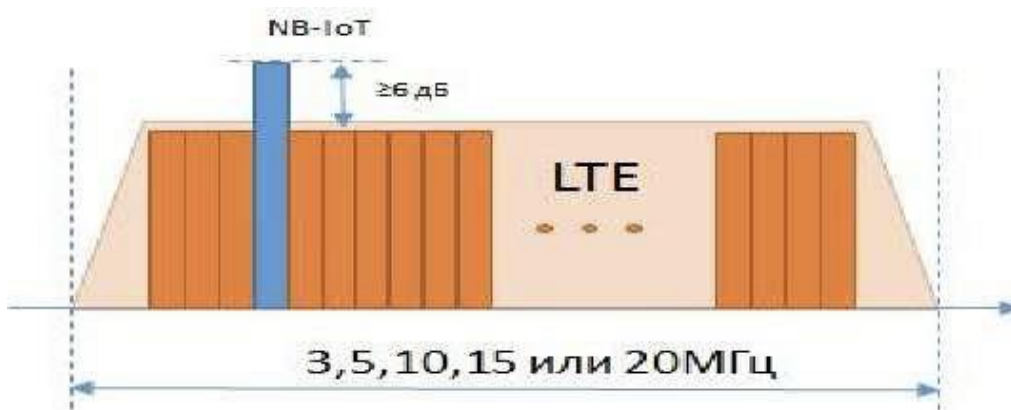


Рисунок 12.5 – Розміщення NB-IoT в режимі In Band(в середині полоси)

– Guard Band(в захистній полосі частот)

В цьому випадку NB-IoT запускається в так званому захисному інтервалі. Наприклад, в смузі LTE 10МГц, по 500 кГц вільного спектру, що використовується в якості захисного інтервалу. Так само як і в режимі in Band для більшої дальності NB-IoT несуча має підвищену потужність на 6-9 дБ порівняно з ресурсними блоками LTE (рис. 12.6). Цей варіант використання дозволяє одночасно заощадити частотний ресурс і зменшити взаємний вплив з LTE мережею, хоча в цьому випадку погіршуються параметри позасмугових випромінювань для LTE.

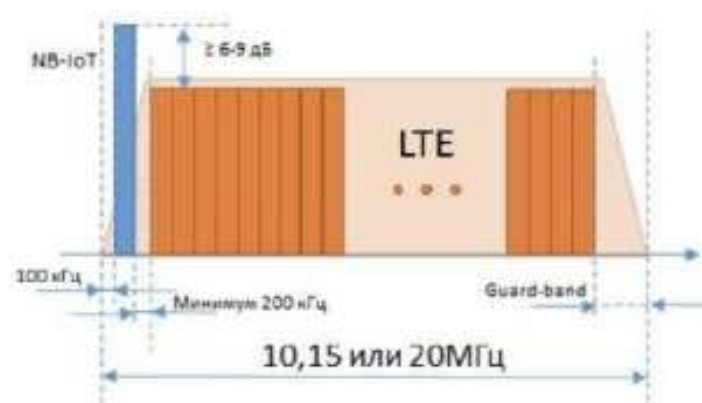


Рисунок 12.6 – Розміщення NB-IoT в режимі Guard Band (в захистній полосі частот)

Технологія Weightless-P

Weightless-P — це технологія LPWAN, яка використовується для IoT.

Вона використовується в тих випадках, коли потрібна довга служба батареї від одного заряду, двонаправлений зв'язок, а також коли потрібна підтримка високої щільності кінцевих пристроїв. Особливостями цієї технології є широка зона покриття, масштабованість мережі, довгий термін роботи батареї та безпека.

Ця технологія підтримує певний невеликий діапазон груп модуляцій та пропонує можливість двонаправленого зв'язку для забезпечення високої якості зв'язку. Одна базова станція може обслуговувати більшу кількість кінцевих пристроїв, ніж інші технології LPWAN.

Базова станція має контроль над своєю мережею і кінцевими пристроями в будь-який час в інших технологіях базова станція не має таких можливостей.

Weightless-P більш розвинута технологія і вона підтримує гарантовану доставку повідомлень, тому їй не потрібно відправляти повідомлення по декілька разів, як в LoRa, SigFox і через це відбувається економія заряду пристроїв. Також в цій технології використовується метод підтримки адаптивної швидкості передавання інформації і через це забезпечується збільшення терміну служби батареї та підвищується продуктивність роботи мережі.

Також Weightless-P підтримує адаптивну зміну швидкості передачі даних, що забезпечує оптимальну продуктивність мережі і збільшує термін служби батареї кінцевих пристроїв, оскільки він регулює фактичну швидкість передачі даних в залежності від близькості кожного вузла до базової станції.

Чим ближче до базової станції кінцеві вузли, тим більш висока швидкість передачі даних, що призводить до більш короткого ефірного часу і більш низької вихідної потужності. Та навпаки вузли, які найбільш віддалені від базової станції, використовують найнижчу швидкість передачі даних і найвищу вихідну потужність.

Більш оптимізований та невеликий по розмірам протокол забезпечує зменшення вартості системи та простоти експлуатації в порівнянні з NB-IoT та іншими стільниковими M2M системами.

Технологія використовується в різних системах спостереження, моніторингу за станом здоров'я людини, розумних речах та ін.

Таблиця 12.1 – Порівняльна характеристика технологій передачі даних на довгі відстані в мережі IoT

Характеристики	LoRaWAN	SigFox	NB-IoT	Weightless-P
Метод модуляцій	CSS	DBPSK/GFSK	GFSK/DBPSK/QPSK	GMSK/PSK
Швидкість	0,3 – 50 кбіт/с	100 кбіт/с	UL: 1 – 144 кбіт/с	0,2 – 100 кбіт/с (адаптивна)
			DL: 1 – 200 кбіт/с	
Смуга	Широкосмуг.	Вузькосмуг.	Вузькосмуг.	Вузькосмуг.
	до 500 кГц	100 кГц	200 кГц	12,5 кГц

Максимальний час автономної роботи пристроїв	> 10 років	до 20 років	до 10 років	3 – 5 років
Частота	868,8 МГц (Європа)	868,8 МГц (Європа)	800/900/1800 МГц	169/433/470/780 868/915 МГц
	915 МГц (США)	915 МГц (США)		
	433 МГц (Азія)			
Безпека	AES-64/128	AES з HMACs	AES-256	AES-128/256
Дальність	до 2,5 км у місті	до 10 км у місті	до 2 км	до 2 км у місті
	до 45 км за містом	до 50 км за містом		