

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
(повне найменування інституту)

Кафедра обчислювальної техніки  
(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка**  
до магістерської кваліфікаційної роботи  
**магістр**  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

---

на тему: Варіанти реалізації ІОТ на базі існуючих операторів мобільного зв'язку

Виконав: студент 2 курсу, групи 1КІ —19м  
спеціальності:

123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва напрямку підготовки)

Мацедонський Є.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф. Азаров О.Д.  
(прізвище та ініціали)

Вінницький національний технічний університет  
( повне найменування вищого навчального закладу )

Факультет\_ Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії \_\_\_\_\_

Кафедра\_ Обчислювальної техніки \_\_\_\_\_

Освітньо-кваліфікаційний рівень\_ магістр \_\_\_\_\_

Спеціальність\_ 123 «Комп'ютерні системи та мережі» \_\_\_\_\_

(шифр і назва)  
ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

\_\_д.т.н., професор Азаров О.Д. \_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## З А В Д А Н Н Я

на магістерську кваліфікаційну роботу

Мацедонському Євгену Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Варіанти реалізації ІОТ на базі існуючих операторів мобільного зв'язку

керівник магістерської кваліфікаційної роботи: Азаров Олексій Дмитрович, д. т. н., професор кафедри ОТ. \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «25»вересня 2020 року №214

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Технічний опис існуючих архітектур Інтернету-речей, стандарти стільникового зв'язку, технології стільникового зв'язку, технічний опис мікропроцесорних засобів ІоТ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) ВСТУП, 1 ІНТЕРНЕТ-РЕЧЕЙ. ОСНОВНА КОНЦЕПЦІЯ, 1.1 Архітектура Інтернету-речей, 1.2 Приклад архітектури Інтернету речей, 1.3 Підходи щодо реалізації архітектури Інтернету-речей, 2 СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ОПИС ІСНУЮЧИХ СТАНДАРТІВ І ЇХ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ, 1.1 Стандарти другого покоління, 2.2 Стандарти третього покоління, 2.3 Стандарти четвертого покоління, 2.4 Стандарти п'ятого покоління і перспективи розвитку мобільного зв'язку, 3 ВАРІАНТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІОТ НА БАЗІ ІСНУЮЧИХ ОПЕРАТОРІВ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ, 3.1 Специфікації стільникового зв'язку 3GPP для ІоТ, 3.2 Технологія ЕС-GSM-ІоТ, 3.3 Технологія еМТС, 3.4 Технологія NB-ІоТ, 3.5 Вибір оптимального оператора мобільного зв'язку, 3.6 Мікропроцесорні засоби ІОТ на базі обраного оператора зв'язку, Висновки, Список літературних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-3	к. т. н., професор Азаров Олексій Дмитрович		
1-3	к. т. н., доцент Богомолів Сергій Віталійович		
4	к. е. н., доцент Руда Лілія Петрівна		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Пошук та огляд інформаційних джерел	08.09.20р.	виконано
2	Інтернет-речей. Основна концепція	21.09.20р.	виконано
3	Стільниковий зв'язок, опис існуючих стандартів і їх перспективи розвитку	13.10.20р.	виконано
4	Варіанти реалізації IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку	26.10.20р.	виконано
7	Економічна частина	09.11.20р.	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки і презентації	16.11.20р.	виконано
9	Попередній захист	23.11.20р.	виконано

Студент

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Мацедонський С.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ Азаров О.Д.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## **РЕФЕРАТ**

Магістерську кваліфікаційну роботу присвячено варіантам реалізації IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку. Розглянуто основну концепцію Інтернету-речей, Оглянуто стільниковий зв'язок, опис існуючих стандартів і їх перспективи розвитку. Запропоновано варіанти реалізації IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку.

## **SUMMARY**

The master's thesis is devoted to the options for implementing IoT on the basis of existing mobile operators. The basic concept of the Internet of Things is considered, the cellular communication, the description of existing standards and their prospects of development are considered. IoT implementation options based on existing mobile operators have been proposed.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 ІНТЕРНЕТ-РЕЧЕЙ. ОСНОВНА КОНЦЕПЦІЯ</b> .....	10
1.1 Архітектура Інтернету-речей.....	10
1.1.1 Речі, датчики та контролери .....	12
1.1.2 Шлюзи та збір даних .....	13
1.1.3 Крайова аналітика .....	14
1.1.4 Центр обробки даних/хмарна платформа .....	15
1.2 Приклад архітектури Інтернету речей.....	16
1.3 Підходи щодо реалізації архітектури Інтернету-речей .....	18
<b>2 СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ОПИС ІСНУЮЧИХ СТАНДАРТІВ І ЇХ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ</b> .....	19
1.1 Стандарти другого покоління.....	19
2.1.1 Архітектура системи мобільного зв'язку стандарту GSM .....	19
2.1.2 Радіоінтерфейс GSM.....	23
2.1.3 Послуги, що забезпечуються GSM .....	23
2.2 Стандарти третього покоління .....	25
2.2.1 Архітектура системи мобільного зв'язку стандарту UMTS.....	25
2.2.2 Послуги за стандартом третього покоління .....	27
2.3 Стандарти четвертого покоління.....	28
2.3.1 Розвиток технології LTE.....	29
2.3.2 Архітектура мережі мобільного зв'язку стандарту LTE.....	30
2.3.3 LTE-Advanced.....	33
2.4 Стандарти п'ятого покоління і перспективи розвитку мобільного зв'язку.....	35

					<i>08-23.МКР.008.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Варіанти реалізації IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку</i> <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Мацедонський Є.В</i>					6	100
<i>Керівник</i>		<i>Азаров О.Д.</i>				<i>ВНТУ, гр. 1КІ-19м</i>		
<i>Рецензент</i>		<i>Куперштейн Л.М</i>						
<i>Н. Контроль</i>		<i>Швець С.І.</i>						
<i>Затверджую</i>		<i>Азаров О.Д.</i>						

<b>3 ВАРІАНТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІОТ НА БАЗІ ІСНУЮЧИХ ОПЕРАТОРІВ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ.....</b>	<b>37</b>
3.1 Специфікації стільникового зв'язку 3GPP для IoT .....	37
3.2 Технологія EC-GSM-IoT .....	39
3.3 Технологія eMTC .....	43
3.4 Технологія NB-IoT .....	50
3.5 Вибір оптимального оператора мобільного зв'язку .....	55
3.6 Мікропроцесорні засоби ІОТ на базі обраного оператора зв'язку...	59
3.6.1 Модуль BC95.....	59
3.6.2 Модуль BC66.....	67
<b>4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>74</b>
4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки .....	74
4.2 Прогнозування витрат на виконання роботи .....	77
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	83
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	85
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>90</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....</b>	<b>91</b>
<b>ДОДАТОК А — Технічне завдання.....</b>	<b>93</b>
<b>ДОДАТОК Б — Функціональна схема модуля.....</b>	<b>96</b>
<b>ДОДАТОК В — Розміщення інтерфейсів модуля.....</b>	<b>97</b>
<b>ДОДАТОКГ — Діаграма відповідності з'єднань.....</b>	<b>98</b>

## ВСТУП

Тепер бурхливо розвиваються технології Інтернету, кількість підключених пристроїв до глобальної мережі з кожним роком збільшується. За розрахунками консалтингового підрозділу Cisco IBSG в проміжку між 2008 і 2009 роками число підключених до Інтернету предметів перевищило кількість людей, до 2015 року кількість підключених пристроїв досягло 25 мільярдів, до 2020 року — 50 мільярдів. Таким чином, відбувся перехід від «Інтернету людей» до «Інтернету речей», IoT (Internet of Things).

У загальному випадку, під Інтернетом речей розуміється безліч різноманітних приладів, датчиків, пристроїв, які об'єднані в мережу за допомогою будь-яких доступних каналів зв'язку, що використовують різні протоколи взаємодії і єдиний протокол доступу до глобальної мережі. Спільним протоколом є IP.

Інтернет речей проникає в самі різні пристрої і додатки, які можуть використовуватися у всіх галузях промисловості і таким чином з'єднає величезна кількість пристроїв.

За останні п'ять років, як пристрій зв'язку, лідирують смартфони, які допомагають вирішувати повсякденні завдання. Далі йдуть планшети, з мобільною операційною системою і сенсорним інтерфейсом. Як тільки Інтернет-речей стане повсякденним, легко уявити цілі категорії споживчих додатків і бізнес-додатків, задіяних в цій новій системі, яку можна описати поняттям «підключене життя». Це включає будівельний і побутову автоматизацію, системи опалення та кондиціонування повітря, управління дорожнім рухом (наприклад, розумний світлофор), організацію турботи про літніх людей, системи безпеки, а також підключення до інтернету автомобілі і зовнішню рекламу.

В розвитку технологій Інтернету-речей задіяні не тільки виробники пристроїв, але і оператори стільникового зв'язку, які спрямовані в першу чергу на розробку і впровадження найбільш затребуваних послуг Інтернет-речей. У

					08-23.МКР.013.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



роботі проведено аналіз технологій Інтернет-речей, розглянуто технічну базу з боку оператора стільникового зв'язку, а також було запропоновано рішення проблем, яка може виникнути при реалізації тієї чи іншої послуги.

**Актуальність** роботи полягає у необхідності створення мікропроцесорних систем та засобів для реалізації IoT, що функціонують на базі мереж існуючих операторів мобільного зв'язку.

**Об'єктом дослідження** є процеси, що відбуваються у системах мобільного зв'язку.

**Предметом дослідження** є методи і засоби реалізації IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку.

**Мета роботи** полягає у реалізації варіантів побудови IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку.

Щоб досягнути мети слід вирішити такі **задачі**:

- провести аналіз концепції Інтернету-речей;
- провести огляд існуючих стандартів мобільного зв'язку;
- вивчити специфікації мобільного зв'язку 3GPP для IoT;
- вивчити технології мобільного зв'язку для IoT;
- запропонувати варіанти реалізації IoT на базі сучасних операторів мобільного зв'язку;
- зробити висновок за результатами випробувань.

**Наукова новизна** полягає у новому підході реалізації IoT на базі новітніх мікропроцесорних систем із застосуванням існуючих мобільних мереж.

**Практичне значення** одержаних у результатів наукового дослідження полягає у пропозиції варіантів побудови IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення й результати магістерської роботи отримані автором самостійно.

## 1 ІНТЕРНЕТ-РЕЧЕЙ. ОСНОВНА КОНЦЕПЦІЯ

Інтернет речей базується на трьох основних принципах. По-перше, всюдищуа комунікаційна інфраструктура, по-друге, глобальний ідентифікатор кожного об'єкта, і по-третє, можливість кожного об'єкта надсилати та отримувати дані через підключену персональну мережу або Інтернет. Кожен в IoT має власний ідентифікатор, які разом взаємодіють, утворюючи набір речей, які можуть створити тимчасову або постійну мережу. Таким чином, речі можуть брати участь у процесі їх переміщення та обмінюватися інформацією про своє поточне географічне розташування. Це дозволяє повністю автоматизувати логістичний процес. Крім того, вбудований інтелект дозволяє речам змінювати властивості та адаптуватися до навколишнього середовища.

Інтернет речей має єдиний протокол взаємодії, в якому кожен вузол у мережі рівнозначний у наданні послуг. Кожен вузол Internet of Things надає власну послугу та службу доставки даних. У той же час вузли в таких мережах можуть отримувати команди від інших вузлів. Це означає, що все в Інтернеті може взаємодіяти між собою для вирішення загальних обчислювальних проблем. Інтернет речей може утворювати локальну мережу, з'єднану єдиною зоною обслуговування.

### 1.1 Архітектура Інтернету-речей

Інтернет-речей концептуально є частиною мереж наступного покоління, тому його архітектура дуже схожа на архітектуру NGN. IoT складається з набору інформаційно-комунікаційних технологій, які гарантують функціональність Інтернету речей, а його архітектура показує, як ці технології взаємопов'язані.

І все ж, говорячи про Інтернет речей, велика увага приділяється його надійності, як одній з двох, мабуть, найбільших проблем, що стоять перед IoT (інша — безпека), фрагментація є основою Інтернету речей через різноманітну

природу Речей, які вона прагне з'єднати. Для запуску будь-якої системи IoT потрібно використовувати всі ресурси, обладнання, програмне забезпечення та системи, якими б різними вони не були, об'єднуючи їх в єдину структуру, щоб сформувати інтегроване, надійне та економічно ефективне рішення. Говорячи простою мовою, кожному розгортанню IoT потрібна міцна архітектура IoT, щоб мати можливість виконувати задумане призначення; результуюча ефективність та придатність системи значною мірою залежить від якості розробленої інфраструктури.

Хоча кожна система IoT відрізняється, основа для кожної архітектури Інтернету речей, а також загального потоку процесів обробки даних приблизно однакова. Перш за все, вона складається з речей, які є об'єктами, підключеними до Інтернету, які за допомогою вбудованих датчиків і виконавчих механізмів здатні відчувати навколишнє середовище та збирати інформацію, яка потім передається шлюзам IoT. Наступний етап складається із систем збору даних IoT та шлюзів, які збирають величезну масу необроблених даних, перетворюють їх у цифрові потоки, фільтрують та попередньо обробляють, щоб вони були готові до аналізу. Третій шар представлений крайовими пристроями, відповідальними за подальшу обробку та посилений аналіз даних. На цьому рівні також можуть вступити технології візуалізації та машинного навчання. Після цього, дані передаються в центри обробки даних, які можуть бути засновані на хмарі або встановлені локально. Саме тут дані зберігаються, управляються та поглиблено аналізуються для отримання практичної інформації (рисунок 1.1).

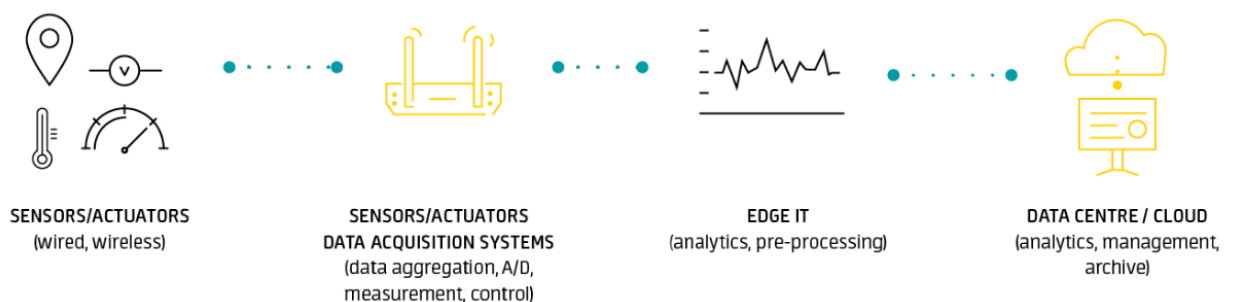


Рисунок 1.1 — Архітектура Інтернету-речей

### 1.1.1 Речі, датчики та контролери

Як основа для кожної системи IoT, підключені пристрої відповідають за надання суті Інтернету речей, яка є даними. Для підбору фізичних параметрів у зовнішньому світі або всередині самого об'єкта їм потрібні датчики. Вони можуть бути вбудовані в самі пристрої або реалізовані як самостійні об'єкти для вимірювання та збору даних телеметрії. Наприклад, подумайте про сільськогосподарські датчики, завдання яких полягає у вимірюванні таких параметрів, як температура та вологість повітря та ґрунту, рівень рН ґрунту або вплив сонячного світла на культури.

Ще одним незамінним елементом цього шару є виконавчі механізми. Тісно співпрацюючи з датчиками, вони можуть перетворювати дані, генеровані розумними об'єктами, у фізичну дію. Давайте уявимо розумну систему поливу з усіма необхідними датчиками на місці. На основі вхідного сигналу, даного датчиками, система аналізує ситуацію в режимі реального часу і наказує приводам відкрити вибрані водяні клапани, розташовані в місцях, де вологість ґрунту нижче встановленого значення. Клапани залишаються відкритими до тих пір, поки датчики не повідомлять про відновлення значень за замовчуванням. Очевидно, що все це відбувається без єдиного втручання людини.

Важливим є також те, що підключені об'єкти повинні мати можливість не тільки двосторонньо взаємодіяти з відповідними шлюзами або системами збору даних, але також мати можливість розпізнавати та розмовляти між собою для збору та обміну інформацією та співпраці в реальному часі, щоб використовувати значення всього розгортання. Особливо у випадку обмежених ресурсів та пристроїв, що працюють від акумуляторів, досягнення цього не є простим завданням, оскільки такий зв'язок вимагає великої обчислювальної потужності та споживає дорогоцінну енергію та пропускну здатність. Отже, надійна архітектура може забезпечити ефективне управління пристроєм лише тоді, коли вона використовує спеціальні, безпечні та полегшені протоколи зв'язку, такі як Lightweight M2M який став провідним стандартним протоколом

для управління малопотужними легкими пристроями, що характерно для багатьох випадків використання IoT.



Рисунок 1.2 — Речі, датчики та контролери

### 1.1.2 Шлюзи та збір даних

Незважаючи на те, що цей рівень все ще функціонує в безпосередній близькості від датчиків і виконавчих механізмів на певних пристроях, важливо описати його як окремий етап архітектури IoT, оскільки він має вирішальне значення для процесів збору, фільтрації та передачі даних до крайової інфраструктури та хмарних платформ. З огляду на величезний обсяг введення та виведення даних, який може створити розгортання мільйонних пристроїв, можливості збору, відбору та транспортування даних повинні бути в центрі уваги. Як посередники між пов'язаними речами та хмарою та аналітикою, шлюзи та системи збору даних забезпечують необхідну точку зв'язку, яка пов'язує решту шарів між собою.

Розташовані на межі світів OT та IT, шлюзи полегшують зв'язок між датчиками та рештою системи, перетворюючи дані датчиків у формати, які легко передаються та використовуються для інших компонентів системи. Більше того, вони здатні контролювати, фільтрувати та відбирати дані, щоб мінімізувати обсяг інформації, яку потрібно пересилати в хмару, що позитивно впливає на витрати на передачу мережі та час відгуку. Таким чином, шлюзи

забезпечують місце для локальної попередньої обробки даних датчиків, які стискаються в корисні пакети, готові до подальшої обробки.

Ще одним аспектом, який підтримують шлюзи, є безпека. Оскільки шлюзи відповідають за управління потоком інформації в обох напрямках, за допомогою належних засобів шифрування та захисту вони можуть запобігти витоку даних хмарних даних IoT, а також зменшити ризик зловмисних зовнішніх атак на пристрої IoT.

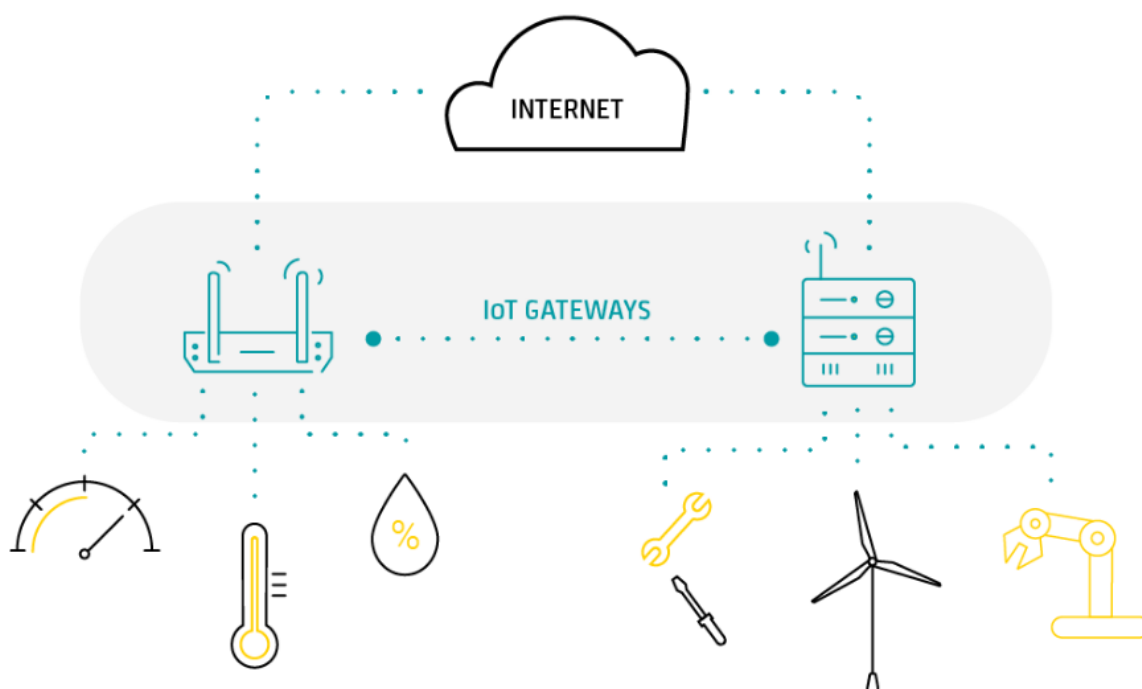


Рисунок 1.3 — Шлюзи та збір даних

### 1.1.3 Крайова аналітика

Незамінним компонентом кожної архітектури IoT є крайові пристрої, які можуть принести значні переваги, особливо великим проектам IoT. В умовах обмеженої доступності та швидкості передачі даних хмарних платформ IoT, крайові системи можуть забезпечити швидший час відгуку та більшу гнучкість у обробці та аналізі даних IoT. Оскільки швидкість аналізу даних є ключовою у деяких додатках Промислового Інтернету Речей, останнім часом обчислювальні

технології різко зростають у популярності серед екосистем Індустріального Інтернету Речей.

Оскільки гранична інфраструктура може бути розташована ближче до джерела даних у фізичному відношенні, їй простіше і швидше діяти на IoT в режимі реального часу та забезпечувати висновок у формі миттєвої дієвої інформації. У цьому сценарії туди пересилаються лише більші фрагменти даних, яким дійсно потрібна потужність Хмари. Мінімізуючи вплив мережі, безпеку можна значно підвищити, тоді як зменшення споживання енергії та пропускної здатності сприяє більш ефективному використанню бізнес-ресурсів.

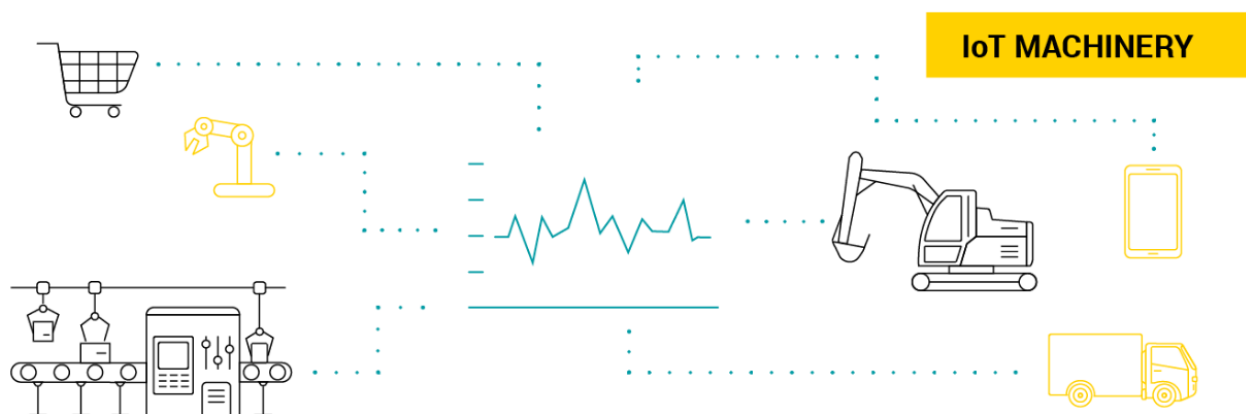


Рисунок 1.4 — Крайова аналітика

#### 1.1.4 Центр обробки даних/хмарна платформа

Якщо датчики є нейронами, а шлюз є основою IoT, то хмара — це мозок у тілі Інтернету речей. На відміну від крайових рішень, центр обробки даних або хмарна система призначена для зберігання, обробки та аналізу величезних обсягів даних для глибшого розуміння за допомогою потужних механізмів аналізу даних та механізмів машинного навчання, які крайові системи ніколи не зможуть підтримати.

Побачивши посилення впровадження (особливо в промисловій архітектурі IoT) протягом останніх кількох років, хмарні обчислення сприяють підвищенню рівня виробництва, скороченню незапланованих простоїв та споживання енергії та багатьом іншим вигодам для бізнесу.

Якщо хмара забезпечена належними рішеннями для користувацьких програм, хмара може надавати бізнес-аналітику та варіанти презентацій, які допомагають людям взаємодіяти з системою, контролювати та контролювати її та приймати обґрунтовані рішення на основі звітів, інформаційних панелей та даних, які переглядаються в режимі реального часу.



Рисунок 1.5 — Центр обробки даних/хмарна платформа

## 1.2 Приклад архітектури Інтернету речей

Охорона здоров'я є однією з основних галузей, яка була лідером і попередником у впровадженні технологій Інтернету речей. Причиною цього є те, що системи IoT допомагають використовувати високоякісну допомогу для пацієнтів і поєднують її з довгостроковою, але масовою економією.

В рамках охорони здоров'я ключові програми IoT включають, але не обмежуючись цим, підвищення безпеки пацієнтів та безпеки персоналу, зменшення зайвих витрат на охорону здоров'я та надання відповідної підтримки в потрібний час, використовуючи інтелектуальні медичні та аварійні системи, що забезпечують IoT.

Зважаючи на величезні проблеми з населенням, що попереду, однією з найбільших проблем у галузі охорони здоров'я є догляд за літніми людьми та моніторинг таких захворювань, як діабет та серцево-судинні захворювання. Таким чином, профілактика відіграє ключову роль у забезпеченні кращого здоров'я пацієнтів похилого віку. Тому не дивно, що Інтернет речей набуває популярності, особливо в моніторингу стану здоров'я, де надійність, безпека та точний контроль у режимі реального часу є обов'язковими.



Приклад автоматичної системи моніторингу для пацієнтів літнього віку вимагає збору даних та аналізу в режимі реального часу, підключення до мережі для доступу до послуг інфраструктури та програми для підтримки користувальницького інтерфейсу та відображення. Отже, його архітектура повинна включати датчики тіла для збору даних про пацієнта, шлюзи для фільтрації та пересилання даних, мікроконтролери або мікропроцесори для аналізу та бездротової передачі даних у хмару, а також інструмент зв'язку для передачі даних у віддалене місце, як екстрена ситуація постачальника послуг або охорони здоров'я для моніторингу та відстеження.

Архітектура IoT для системи складається з трьох етапів: фізичного, комунікаційного та прикладного. Перший шар має багатосенсорну мережу, яка оцінює життєві показники пацієнта, такі як харчування, медичне споживання та фізичні навантаження. Також до фізичного рівня входить інша мережа моніторингу, яка складається із власних датчиків та виконавчих механізмів для підтримки якості повітря, температури та аналізу та визначення будь-яких небезпечних умов для пацієнта. Другий рівень включає в себе OT-пристрої, які збирають інформацію, зібрану датчиками, перетворюють її у значущі потоки даних і передають їх до внутрішнього призначення. Третій рівень — це місце, де дані приймаються, зберігаються та обробляються за допомогою хмарних механізмів аналізу даних та механізмів машинного навчання.

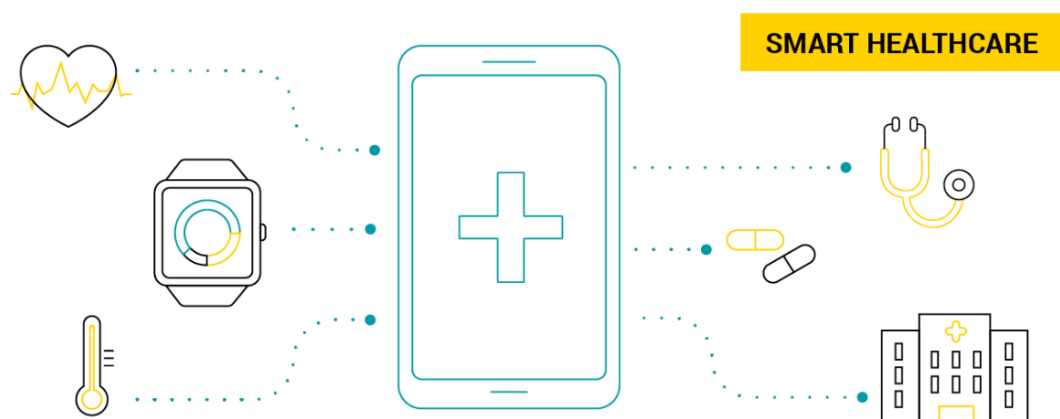


Рисунок 1.6 — Приклад архітектури IoT

Представлена система моніторингу охорони здоров'я повинна забезпечувати доступність для різних користувачів. Наприклад, медичний працівник, сам пацієнт та будь-які члени сім'ї чи доглядачі. З огляду на це, однією з проблем використання IoT в рамках моніторингу охорони здоров'я є забезпечення безпеки даних та конфіденційності. Безпеки можна досягти за допомогою шифрування при передачі даних. Прикладом є використання мікропроцесора, який забезпечує та забезпечує безпечний метод комунікації через шифрований рівень сокету (SSL).

### 1.3 Підходи щодо реалізації архітектури Інтернету-речей

Як зазначалося раніше, архітектура IoT може відрізнитися від рішення до рішення, але її суть складається з чотирьох будівельних блоків, які є ключовими у забезпеченні основних особливостей, що роблять стійку екосистему IoT: функціональність, масштабованість, доступність, ремонтпридатність та економічна ефективність. Тут важливо не дозволити себе вразити усвідомленою складністю архітектури Інтернету речей і не втратити з виду можливість для реалізації привабливих та перспективних проєктів IoT. Варто зазначити, що зростаючий фокус на розробці надійної архітектури IoT спостерігається серед різних галузей повсякденного життя та промисловості.

Правда, що ще потрібно виконати багато робіт щодо подолання фрагментації технологій IoT, оглядаючись назад, цілком очевидно, що до цього часу було зроблено багато зусиль для інтеграції широкого спектру технологій та стандартів, прийнятих IoT (приклади: LwM2M, oneM2M) і є надія на більш уніфіковане та стандартизоване майбутнє. Однак, перш ніж це стане реальністю, ключ до реалізації IoT не обов'язково полягає в отриманні єдиної технології IoT, а в приведенні всіх технологій у відповідність, щоб вони були ефективними у збиранні, управлінні, аналізі та використанні даних шляхом створення надійної, надійної, масштабованої та безпечної архітектури IoT.

## 2 СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ОПИС ІСНУЮЧИХ СТАНДАРТІВ І ЇХ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

### 2.1 Стандарти другого покоління

Друге покоління мобільного зв'язку є найбільш поширеним на території України, так як воно лідирує не тільки за площею охоплюється території, а й за чисельністю абонентів. Друге покоління здійснює роботу з допомогою декількох стандартів: GSM і CDMA. Стандарт CDMA, що працює на частотах 450/850 МГц не отримав широкого поширення в Україні. Більш популярний, так званий, Європейський стандарт GSM працює на частотах 900 і 1800 МГц.

#### 2.1.1 Архітектура системи мобільного зв'язку стандарту GSM

Архітектура системи мобільного зв'язку стандарту GSM, запропонована ETSI, представлена на рисунку 2.1. Розглянемо її компоненти і їх призначення.

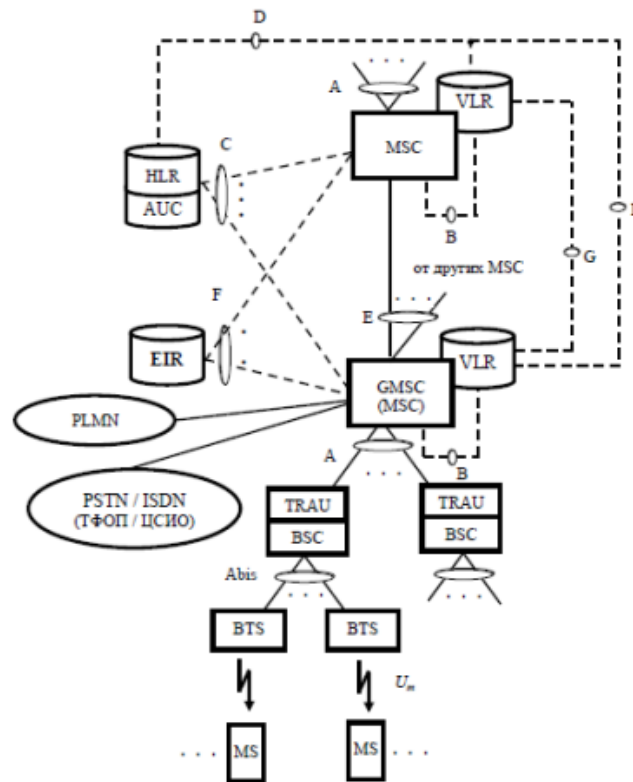


Рисунок 2.1 — Архітектура системи мобільного зв'язку стандарту GSM

MS — Mobile Station. Рухома станція (PC), яка складається безпосередньо з обладнання MS і SIM (Subscriber Identity Mobile) карти. Устаткування MS купується абонентом, і воно має унікальний номер IMEI (International Mobile Equipment Identity).

SIM карта видається абоненту при укладенні договору з мережею оператора зв'язку на надання послуг. SIM карта містить інформацію, що дозволяє однозначно здійснювати процедуру аутентифікації, наприклад таку, як персональний номер і абонентський ключ. Тобто, коли говоримо, що аутентифікуємо абонента, розуміємо, що аутентифікуємо SIM карту.

MSC — Mobile Switching Centre — вузол комутації стандартних цифрових каналів 64 кбіт/с. Як і в фіксованих мережах ISDN, він реалізує всі функції по процесу обслуговування викликів. Крім того, на нього покладено функції щодо забезпечення персональної мобільності.

GMSC — Gateway MSC — транзитний вузол комутації, що є шлюзом для виходу на інші мережі електрозв'язку з комутацією каналів як фіксованого зв'язку — PSTN/ISDN, так і мобільного зв'язку — PLMN (Public Land Mobile Network).

HLR — Home Location Register — реєстр абонентських даних конкретної мережі оператора зв'язку. HLR містить абонентські дані про MS тільки тих абонентів, які уклали договір на надання послуг з даною мережею. Як відомо, жодна мережа в загальному випадку не реалізує послугу в цілому, її реалізують всі мережі всіх операторів зв'язку. Але відповідальність за якість надання послуг несе та мережа, з якою абонент уклав договір. Абонентські дані HLR містять необхідну інформацію про послуги, на які підписався абонент, як це робилося і в фіксованих мережах. Крім того, HLR зберігає інформацію, необхідну для забезпечення персональної мобільності, наприклад таку, як персональний номер і абонентський ключ, якої оперативному реєстру абонентських даних MSC передані дані про конкретну MS, підключена/відключена MS і т. д.

VLR — Visitor Location Register — оперативний реєстр абонентських даних MSC. VLR містить дані про тих MS, які знаходяться в даний момент часу в зоні обслуговування MSC, незалежно від того, з якою мережею абонент уклав договір на надання послуг. Ці дані VLR, одержуваних від HLR, VLR містить інформацію про місцезнаходження MS в межах обслуговування MSC.

AUC — Autentication Centre — центр аутентифікації і закриття інформації. Завданням центру аутентифікації є генерація триплет. Інформація триплет використовується MSC для аутентифікації SIM-карти абонента і закриття користувальницької інформації, що передається по радіоканалу.

EIR — Equipment Identity Register — реєстр ідентифікації обладнання. EIR містить три списки номерів IMEI — білий, сірий і чорний. У білому списку містяться номери IMEI, які обслуговує мережу. Сірий список включає в себе номери IMEI несправних MS, і мережа їх не обслуговує, так як не може гарантувати необхідну якість реалізації послуг. Чорний список містить номери IMEI, які мережа не обслуговує, так як дані MS, наприклад, не сертифіковані або викрадені зловмисниками. Слід зазначити, що EIR є не обов'язковою структурною компонентою, і багато операторів її не використовують.

BTS — Base Transceiver Station — приймально-передавальна базова станція, основним завданням якої є перехід з провідних засобів передачі інформації на радіоканал і назад. При цьому як в BTS, так і в MS повинні бути вирішені проблеми, розглянуті в розділі 1.1, для того щоб забезпечити необхідну якість передачі інформації по радіоканалу.

BSC — Base Station Controller — контролер базових станцій, основним завданням якого є розвантаження MSC від функцій процедури перемикавання виклику (Handover). Тобто BSC постійно контролює якість передачі інформації в процесі реалізації послуг, приймає рішення про запуск процедури перемикавання виклику і відповідає за її реалізацію. Для цього він має комутаційне обладнання, що дозволяє здійснювати перемикавання користувальницьких каналів від однієї BTS до іншої. Тільки при неможливості

реалізувати процедуру повністю (BTS знаходиться у веденні іншого BSC) він звертається до MSC.

TRAU — Transcoding and Rate Adaptation Unit — транскодер забезпечує перетворення мовної інформації в смугі 0,3-3,4 кГц, переданої на радіоучастку зі швидкістю 13 кбіт/с в стандартний цифровий канал 64 кбіт/с і назад. Це обумовлено тим, що в цілях економії радіоресурсу ETSI використовував більш досконалий кодек. Цей кодек (RPE/LTR-LPC) використовує принципи вокодера, диференціальної ІКМ, довготривалого і короткочасного пророкувань. В результаті кодування відрізка мовного сигналу тривалістю 20 мс отримуємо 260 біт, що і визначає необхідну швидкість передачі в 13 кбіт/с. Слід зазначити, що BTS, BSC, TRAU разом утворюють базову станцію BSS (Base Station System).

Таким чином, на відміну від фіксованих мереж в стільникових мережах загального користування (PLMN), значно змінилася архітектура і безліч компонент, які обмінюються інформацією в процесі реалізації послуги. Для обміну інформацією кожна з компонент має бути однозначно ідентифікована, що вимагає чіткого визначення їх зон обслуговування. Рекомендаціями ETSI визначені наступні зони обслуговування:

- Cell. Cota. Під сотої розуміється зона обслуговування однієї BTS;
- Location Area — зона місцезнаходження або пошуку. Дана зона обслуговування введена для оптимізації сигнальної навантаження, що виникає в процесі реалізації двох процедур — поновлення даних місцезнаходження та пошуку. Вона являє собою сукупність суміжних сот в межах одного MSC. Мінімальний розмір Location Area — це сота, а максимальний — зона обслуговування MSC. В межах Location Area MS може переміщатися у вільному активному стані без поновлення даних в VLR і HLR. Однак при пошуку MS всі BTS цієї зони повинні передавати адресу даної MS;
- MSC Service Area — зона обслуговування MSC, яка є частиною мережі і MS, зареєстрована в VLR даного MSC, може переміщатися у вільному активному стані в межах цієї зони без передачі її абонентських даних в інший VLR і зміни даних в HLR;

— PLMN Service Area — зона покриття мережі оператора зв'язку, з якої абонент укладає договір на надання послуг, а абонентські дані заносяться в HLR;

— GSM Service Area — зона обслуговування глобальної мережі стандарту GSM, яка охоплює зони обслуговування всіх національних мереж. При цьому всі національні мережі повинні чітко відповідати стандарту GSM.

### 2.1.2 Радіоінтерфейс GSM

У GSM для створення дуплексних каналів зв'язку використовується принцип частотного поділу напрямків передачі (FDD). Тобто виділені два діапазони частот: один для радіоканалів прямого напрямку передачі інформації, а інший для зворотного. У відповідності зі специфікаціями GSM, діапазон частот 935-960 МГц використовується для створення радіоканалів від MS до BTS, а діапазон частот 890-915 МГц від BTS до MS. Інтервал між несучими сусідніх радіоканалів становить 200 кГц. Таким чином, двобічний радіоканал в GSM представляє собою дві смуги частот по 200 кГц. Стандарт GSM в своєму розпорядженні всього має 124 дуплексні радіоканали.

Для забезпечення множинного доступу в кожному радіоканалі створюється 8 цифрових каналів з тимчасовим їх поділом (TDMA).

У кожному циклі доступу з будь-якого цифрового каналу максимально можна передати 148 біт інформації. В силу неідеальності апаратної реалізації кожен цифровий канал має захисний інтервал, рівний часу передачі 8,25 біта.

### 2.1.3 Послуги, що забезпечуються GSM

GSM надає наступні послуги:

- телефонний зв'язок (поєднується зі службою сигналізації: охорона квартир, сигнали лиха та ін.);
- передача коротких повідомлень;
- доступ до служб «Відеотекст», «Телетекст»;

— служба «Телефакс».

Користувачі GSM можуть обмінюватися даними зі швидкістю понад 9600 бітів/с:

— з користувачами звичайної телефонної мережі (POTS — Plain Ordinary Service);

— з користувачами цифрової мережі інтегрального обслуговування (ISDN);

— з користувачами мережі передачі даних загального користування з пакетною комутацією (PSPDN — Packet Switched Public Data Networks);

— з користувачами мережі передачі даних загального користування с комутацією каналів (CSPDN — Circuit Switched Public Data Networks).

Унікальна особливість GSM, яка відсутня в старих аналогових системах, — Служба передачі коротких повідомлень (SMS — Short Message Service). SMS — двунправленне обслуговування коротких алфавітно-цифрових (не більше 160 байтів) повідомлень. Повідомлення транспортуються способом з проміжним накопиченням (store-and-forward fashion). При з'єднанні між двома абонентами SMS-повідомлення можна передати третій абоненту і отримати підтвердження. SMS може також використовуватися в широкомовному режимі, щоб послати такі повідомлення, як модифікації трафіку або модифікації новин. Повідомлення можуть також бути збережені в пам'яті SIM-картки абонента (SIM — Subscriber Identification Module) для використання в подальшому.

Додатково стандартизований широкий спектр особливих послуг (включення в закриту групу користувачів передача виклику, оповіщення про тарифні витратах).

Вони включають кілька варіантів переадресації виклику і заборона на виклик при вхідної та вихідної зв'язку, наприклад, коли за кордоном (зміні місця розташування) в іншій країні. Здійснюються такі послуги, як ідентифікація абонента, режим «очікування виклик», багатосторонній конференцзв'язок.



## 2.2 Стандарти третього покоління

Мережі третього покоління працюють в декількох стандартах, один з яких WCDMA (UMTS), який працює на частотах 2000-2100 МГц.

Стандарт UMTS є розвитком стандарту GSM/GPRS в частині мережі радіодоступу при збереженні базової мережі (Core Network). В основу стандарту UMTS покладена технологія WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), технологія широкосмугового множинного доступу з кодовим поділом каналів, прийнята ETSI в 1998 г. При цьому двосторонно забезпечується як за принципом рознесення частот FDD (Frequency Division Duplex), так і за принципом поділу в часі TDD (Time Division Duplex).

### 2.2.1 Архітектура системи мобільного зв'язку стандарту UMTS

Архітектура мережі мобільного зв'язку стандарту UMTS як розвиток стандарту GSM/GPRS у відповідності зі специфікаціями 3GPP (реліз 99) представлена на малюнку 2.2.

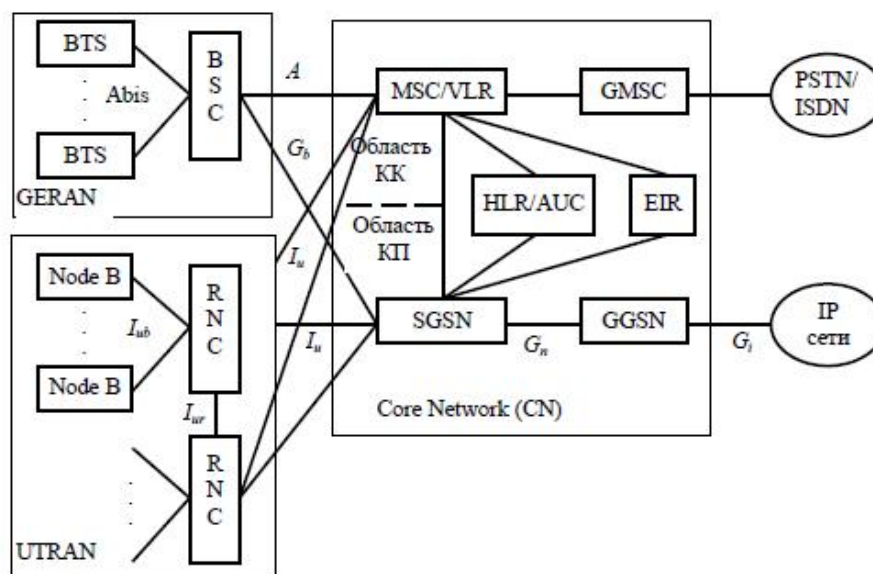


Рисунок 2.2 — Архітектура мережі мобільного зв'язку стандарту UMTS

Як видно з рисунку, на існуючу інфраструктуру GSM/GPRS накладена нова мережа радіодоступу UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). До

складу UTRAN входять нові компоненти: контролер мережі радіодоступу RNC (Radio Network Controller) і базова станція NodeB. Організація взаємодії NodeB з рухомими станціями UE (User Equipment) здійснюється на базі технології WCDMA. При цьому UE можуть бути виділені кілька каналів на радіоучастку RAB (Radio Access Bearer), які об'єднують в RRC (Radio Resource Connection) з'єднання. В UTRAN введено і нове поняття — наскрізний канал (Bearer).

При розробці транспортної інфраструктури (Backhaul), що забезпечує взаємодію компонент мережі UTRAN, творці стандарту спочатку орієнтувалися на використання пакетних технологій.

Вибір припав на технологію ATM (Asynchronous Transfer Mode), яка в кінці 90-х рр. вважалася найбільш перспективною.

Компоненти базової мережі CN також піддалися модернізації. Так, наприклад, стандарт UMTS використовує новий механізм забезпечення безпеки в мережі. Отже, CN повинна підтримувати обидва режими як старий, так і новий. Найбільш суттєві зміни торкнулися SGSN. В GSM/GPRS SGSN в основному відповідав за управління мобільністю при обміні пакетної інформацією. В UMTS функції управління мобільністю розділені між RNC і SGSN.

Стандарт UMTS не є статичним стандартом. Він динамічно розвивається від релізу до релізу.

При FDD в різних напрямках використовуються різні частоти, розділені смугою 190МГц. Очевидно, що виділення парних смуг частот важко, коли спектр обмежений.

Тимчасовий поділ (TDD) розділяє прямий і зворотний потік за часом. Мобільна і базова станції використовують по черзі одну і ту ж частоту в різних напрямках, що дозволяє зменшити величину займаної смуги і не потрібно поділ спектру на парні частоти. Цей спосіб найбільш прийнятний для невеликих сот, тому що інтервал прийому/передачі залежить від часу поширення інформації. Однак для тимчасового поділу часто виходом є застосування асиметричних швидкостей в прямому і зворотному напрямку. Метод TDD може виявитися

більш ефективним в пікосоти для роботи з комп'ютерами (Інтернет) бездротовим способом.

### 2.2.2 Послуги за стандартом третього покоління

Згідно з вимогами, зазначеними при розвитку мереж третього покоління, передбачалося забезпечення цілого спектра послуг. Розглянемо кожен з них докладніше.

#### 1 Мова, голосова пошта.

Швидкість, необхідна для надання послуги — 4-32 Кбіт/с. Дана служба не може розглядатися як нова послуга. 3G зможе запропонувати аналогічну якість виклику, як і в стаціонарного зв'язку. Голосова пошта же в кінцевому підсумку буде інтегрована з електронною поштою, додасться автоматичне розпізнавання голосу за допомогою комп'ютера і синтезоване мовлення для озвучування повідомлень диктора.

#### 2 Передача повідомлень, комутація пакетів.

Дана послуга є додатково розширеної службою, об'єднаної з електронною поштою Інтернету при швидкості 9,6-14,4 кбіт/с.

#### 3 Комутовані дані.

Цей клас включає процедури відправлення інформації за допомогою факсу та автоматичне підключення з набором номера до телефонної мережі або Інтернету, з комутацією доступних каналів. Цей клас призначений для забезпечення роботи з існуючим обладнанням. Швидкість послуги — 144 (64) кбіт/с.

#### 4 Мультимедіа (середньої швидкості).

Самая популярна служба 3G. Його швидкість даних потоку «мережа — користувач» ідеальна для веб-навігації, спільної роботи на комп'ютері, ігор, визначення місця розташування з наданням карти місцевості, напрямки пересування від однієї точки місцевості до іншої. Швидкість даної служби — 128-384 кбіт/с.

### 5 Мультимедіа (високій швидкості)

Швидкість служби 384-2048 Кбіт/с. Цей клас може використовуватися для високошвидкісного доступу до Інтернету, для передачі відео і аудіо високої чіткості.

### 6 Діалогове (інтерактивне) мультимедіа (високій швидкості).

Даний клас може використовуватися для високоякісного відеоконференцзв'язку або відеофонів.

Незважаючи на те, що деякі з них вимагають комутації каналів, це здійснюється за допомогою заміни реальних каналів віртуальними. Будь-яка інформація, в тому числі мова, відео та факс, надається в пакетах, які у віртуальному каналі передаються з урахуванням пріоритету. Діалогове мультимедіа високої швидкості займає неперіоритетні канали, в той час, коли вони не використовуються. Можна навести приклад: при передачі зображень за допомогою телебачення або відеофона, передаються тільки змінені частини зображення, за рахунок чого відбувається економія пропускну здатності.

## 2.3 Стандарти четвертого покоління

Розвиток бездротового зв'язку супроводжується безперервною зміною технологій. Обсяг пакетних даних в мережах стільникового зв'язку третього покоління вже перевищує обсяг голосового трафіку. Це дозволяє використовувати їх для надання послуг голосового зв'язку, передачі мультимедійної інформації і т.п. У зв'язку з цим саме поняття мереж наступного, четвертого, покоління нерозривно пов'язано зі створенням універсальних мобільних мультимедійних мереж передачі інформації. Сьогодні дві групи технологій явно націлені на надання універсальних послуг зв'язку. Це WiMAX (як розвиток лінії IEEE 802) і технології стільникового зв'язку покоління «супер 3G». Причому кожна з них займає свою нішу на великому ринку бездротового зв'язку.

Однак вимоги кінцевих користувачів до послуг, що надаються постійно підвищуються. Мобільні мережі повинні використовуватися не тільки для

стільникового зв'язку, але і для передачі відео, мобільного ТБ, музики і роботи з Інтернетом з високими швидкостями і якістю передачі. Саме з цією метою в рамках проекту співпраці в створенні мереж третього покоління 3GPP (3G Partnership Project) було розпочато розробку технології LTE.

Стандарт LTE (Long Term Evolution — довгострокова еволюція) вважається логічним розвитком технологій 3G, його впровадження є перспективним напрямком розвитку мереж. Основними цілями створення стандарту LTE можна назвати нарощування можливостей високошвидкісних систем мобільного зв'язку, зменшення вартості передачі даних, можливість надання широкого спектра недорогих послуг, підвищення гнучкості використання вже існуючих систем. LTE відрізняється від 3G підвищеною ємністю, кращим використанням частотного спектра і меншою затримкою при передачі пакетів даних.

### 2.3.1 Розвиток технології LTE

Розробка технології LTE як стандарту офіційно почалася в кінці 2004 року. Основною метою досліджень на початковому етапі був вибір технології фізичного рівня, яка змогла б забезпечити високу швидкість передачі даних. В якості основних були запропоновані два варіанти: розвиток існуючого радіо інтерфейсу WCDMA і створення нового на основі технології OFDM. В результаті проведення досліджень єдиним достойним технологією виявилася OFDM, і в травні 2006 року в 3GPP була створена перша специфікація на радіо інтерфейс Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA). Перші, попередні специфікації LTE створювалися в рамках так званого 3GPP Release 7. В грудні 2008 року затверджено версія стандартів 3GPP (Release 8), яка фіксує архітектурні та функціональні вимоги до систем LTE.

У порівнянні з раніше розробленими системами 3G, LTE забезпечить поліпшені технічні характеристики. Зокрема, в LTE ширина смуги пропускання може варіюватися від 1,4 до 20 МГц, що дозволить задовольнити потреби різних операторів зв'язку, що володіють різними смугами пропускання. Також

очікувалось, що LTE поліпшиться ефективність використання радіочастотного спектру, тобто зросте обсяг даних, переданих в заданому діапазоні частот. LTE дозволить досягти значних агрегатних швидкостей передачі даних — до 50 Мбіт/с для висхідного з'єднання (від абонента до базової станції) і до 100 Мбіт/с для низхідного з'єднання (від базової станції до абонента). При цьому повинна підтримуватися підтримка з'єднань для абонентів, що рухаються зі швидкістю до 350 км/ч. Зона покриття однієї базової станції — до 30 км в штатному режимі, але можлива робота з комірками в радіусі 100км.

### 2.3.2 Архітектура мережі мобільного зв'язку стандарту LTE

Функціонально мережу мобільного зв'язку стандарту LTE, у відповідності зі специфікаціями 3GPP, складається з двох частин: мережі радіодоступу E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) і відкритої пакетної мережі підтримки EPC (Evolved Packet Core). E-UTRAN складається із сукупності базових станцій eNodeB (eNB).

На eNB в мережі стандарту LTE покладено виконання таких функцій, як:

- управління радіо ресурсами (розподіл радіоканалів і динамічний розподіл ресурсів в низхідному і висхідному напрямках передачі);
- забезпечення гарантованої доставки і цілісності інформації, що передається по радіоканалах;
- стиснення заголовків IP-пакетів і закриття (шифрацію) користувальницької інформації;
- вибір блоку управління мобільністю (MME) в мережі EPC;
- маршрутизація пакетів для користувача інформації у напрямку до EPC (до S-GW);
- диспетчеризація і передача викличної і мовної інформації, одержуваної від EPC (від MME);
- вимірювання і складання звітів, необхідних для управління мобільністю, в тому числі прийняття рішення про ініціювання процедури перемикавання виклику (Handover) і перші етапи її реалізації;

— підтримка багатоантенної технології MIMO (Multiple Input Multiple Output).

Технологія MIMO використовується або для підвищення якості доставки інформації, або підвищення швидкості передачі. Стандарт LTE використовує схеми MIMO, що містять 1, 2 і 4 передавальних і приймальних антен в різних поєднаннях.

Для підвищення якості доставки інформації використовується диверсифікований спосіб передачі (просторове/тимчасове/частотне кодування). В цьому випадку група символів передається або послідовно в часі на одній несучій (просторово-часове кодування), або одночасно на декількох піднесучих (просторово-частотне кодування) паралельними потоками.

Підвищення швидкості передачі забезпечується за рахунок просторового мультиплексування, яке реалізується на основі багатошарових структур. Рухаючись, інформаційний потік розділяється на шари (layers), які за допомогою спеціальних MIMO кодуючих матриць (precoding) перетворюються для передачі через окремі антени, число яких може досягати чотирьох, і число антен базової станції (eNB) має відповідати числу антен мобільної станції (UE). Число шарів визначає ранг структури. При цьому в LTE використовують два варіанти просторового мультиплексування: однокодовий (SCW — single code word) і багатокодовий (MCW — multiple code word). Крім того, при низхідному напрямку передачі системи MIMO класифікують як однокористувацькі (SU-MIMO — Single-User MIMO) і розраховані на багато користувачів (MUMIMO — Multi-User MIMO). SU-MIMO призначена для обслуговування тільки однієї мобільної станції (UE). MUMIMO застосовують, коли eNB в одному каналі передає інформацію для кількох UE.

Архітектура мережі мобільного зв'язку стандарту LTE представлена на рисунку.2.3. Розглянемо функціональне призначення компонент EPS.

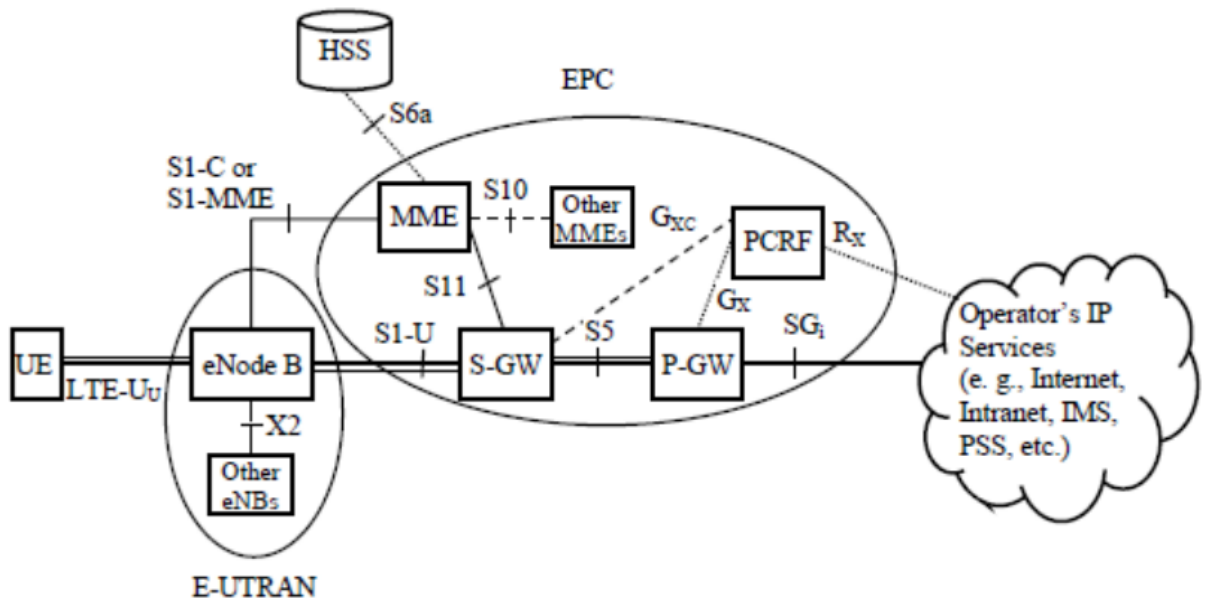


Рисунок 2.3 — Архітектура мережі мобільного зв'язку стандарту LTE

UE — User Equipment — рухома станція, яка, як і в попередніх стандартах, складається безпосередньо із самого обладнання і SIM карти.

MME — Mobility Management Entity — блок управління мобільністю реалізує процедури, необхідні для забезпечення персональної мобільності. На MME покладаються такі завдання:

- аутентифікація;
  - оновлення даних місцезнаходження (Tracking Area Update);
  - управління списками зон спостереження (Tracking Area);
  - авторизація;
  - вибір обслуговуючого шлюзу (S-GW) EPC для мереж радіодоступу різних стандартів;
  - вибір нового блоку MME для перемикування виклику (Handover);
  - передача закритої інформації про точки доступу до послуг;
  - підтримка передач інформації в мовній режимі.
- S-GW — Serving Gateway. Обслуговуючий шлюз відповідає за виконання таких функцій:
- маршрутизація пакетів даних;



- вибір точки «прив'язки» при перемиканні виклику (Handover);
- буферизація пакетів для UE, що знаходяться в стані очікування (Idle Mode);
- установка показників якості (QoS) послуг, що надаються;
- формування і передача облікових даних для тарифікації;
- санкціонований перехоплення інформації користувачів.

P-GW — Packet Data Network Gateway. Шлюз доступу до зовнішніх IP-мереж (IMS, Internet). P-GW забезпечує UE IP-адресою. Якщо UE має статичний IP-адресу, P-GW здійснює його активацію. Якщо ж UE не має IP-адреси, то необхідно надати динамічний IP-адресу на час сеансу зв'язку. P-GW запитує його у сервера DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), або сам реалізує функції DHCP. Отриману динамічну IP-адресу P-GW доставляє UE. До складу P-GW входить функція PCEF (Policy and Charging Enforcement Function) за допомогою якої забезпечуються необхідні характеристики *QoS* послуг при взаємодії з зовнішніми IP-мережами.

PCRF — Policy and Charging Resource Function. PCRF є керуючий сервер, що забезпечує централізоване управління ресурсами EPC, облік і тарифікацію наданих послуг. Як тільки з'являється запит на реалізацію послуги, ця інформація надсилається до PCRF. Він оцінює наявні в його розпорядженні мережеві ресурси і передає команду P-GW (функції PCEF) на установку необхідних параметрів *QoS* і порядку тарифікації.

HSS — Home Subscriber Server. Сервер абонентських даних конкретної мережі оператора зв'язку. Як і HLR, мережі GSM, HSS містить абонентські дані про UE тільки тих абонентів, які уклали договір на надання послуг з даною мережею. Дана компонента не входить до складу EPC, а належить IMS.

### 2.3.3 LTE-Advanced

LTE-Advanced — це назва специфікації 3GPP 10 версії, яким Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) присвоїв сертифікат «IMTAdvanced».

Можливість агрегування спектра є, мабуть, найголовнішою характерною особливістю LTE-Advanced і забезпечує додаткову гнучкість використання спектра, закладену в системі LTE в формі набору каналів з масштабованою шириною.

Розглянемо ряд аспектів, пов'язаних з цим важливим питанням. По-перше, для досягнення заявленої в вимогах MCE і стандартах 3GPP швидкості передачі даних 1 Гбіт/с в LTE-Advanced необхідно істотно розширити смугу каналу. Таке рішення є найбільш вірогідним і можливим, тому що на сьогоднішній день мала ймовірність збільшення пропускної здатності системи за рахунок помітного поліпшення показників спектральної ефективності, існуючих в LTE. У зв'язку з цим в LTE-Advanced встановлено верхню межу ширини каналу 100 МГц, тобто обрана досить широка смуга.

По-друге, через відсутність вільних смуг спектра зазначеної ширини практично в усьому світі в стандартах 3GPP закладена можливість агрегації (об'єднання) декількох смуг частот, яка також отримала назву агрегації несучих частот.

До LTE-A застосовуються більш жорсткі вимоги, у порівнянні з попередніми технологіями.

Вимоги до LTE-Advanced:

- високий ступінь функціональності для надання широкого діапазону високошвидкісних послуг в масштабах світового ринку з істотною економічною ефективністю і якістю;
- можливість взаємодії з іншими системами радіодоступу, включаючи повну сумісність з LTE (Rel'8);
- гармонізація і сумісність абонентських пристроїв в міжнародному масштабі;
- реалізація роумінгу по всьому світу;
- підтримання ширини каналу до 40 МГц включно;

— можливість організації більш широкої смуги каналу (до 100 МГц), яка потенційно може забезпечити пікову швидкість передачі даних 3 Гбіт/с в Downlink і 1,5 Гбіт/с в Uplink;

— забезпечення спектральної ефективності в каналах Downlink до 15 біт/с/Гц при 4x4 MIMO і до 6,75 біт/с/Гц - при 2x4 MIMO в каналах Uplink;

— використання 8 передавальних антен MIMO в каналах Downlink.

#### 2.4 Стандарти п'ятого покоління і перспективи розвитку мобільного зв'язку

На даний момент в світі існує чотири покоління мобільного зв'язку. Вважається, що п'яте покоління мобільного зв'язку з'явиться з 2020 року. Пояснити це досить просто: існує, так зване, правило десяти років. Якщо зазирнути трохи в минуле, можна помітити, що кожне нове покоління мобільного зв'язку з'являлося приблизно через 10 років після появи попереднього: перше покоління з'явилося на початку 80-х років, друге на початку 90-х, третє на початку 00-х, четверте в 2009 році. Напрошується висновок, що перші мережі 5G з'являться приблизно в 2020 році.

В даний час ведуться програми по розробці основних обрисів стандарту п'ятого покоління. Саме тому точного визначення 5G поки дати не можна, можна лише передбачити, якими стануть мережі після 2020 року.

Очевидно, що в майбутньому до мережі буде підключено набагато більше пристроїв, більшість з яких будуть працювати за принципом «завжди онлайн». При цьому дуже важливим параметром буде низьке енергоспоживання. Безумовно, в мережах п'ятого покоління середні швидкості повинні бути, як мінімум, на порядок вище, ніж в мережах четвертого покоління. Точні цифри можна дізнатися з стандарту, де сформовані вимоги до мереж п'ятого покоління. Відомо, що швидкість не перевищує перевищувати 10 Гбіт/сек.

Потенційні технології в стандарті 5G:

1 Масивні MIMO.

Технологія МІМО означає використання декількох антен на приймач. Технологія, успішно застосовується в мережах четвертого покоління, стане у пригоді і в мережах 5G. При цьому якщо в 2014 році в мережах використовується МІМО 2x2, то в майбутньому число антен має збільшитися. Ця технологія має відразу два вагомні аргументи для застосування: швидкість передачі даних зростає практично пропорційно кількості антен, при цьому якість сигналу поліпшується за рахунок прийому сигналу відразу декількома антенами.

## 2 Перехід в сантиметровий і міліметровий діапазони.

На даний момент мережі LTE працюють в частотних діапазонах нижче 3 ГГц і вважається, що перехід в більш високі діапазони буде здійснений лише в стандарті 5G. При підвищенні частоти, на якій передається інформація, зменшується дальність зв'язку. Це закон фізики, обійти його можна лише підвищуючи потужність передавача, яка обмежена санітарними нормами.

Однак вважається, що базові станції мереж п'ятого покоління будуть розташовуватися щільніше, ніж зараз, що викликано необхідністю створити набагато більшу ємність мережі. Перевагою діапазонів десятків ГГц є наявність великої кількості вільного спектру.

## 3 Мультитехнологічність.

Для забезпечення високоякісного обслуговування в мережах 5G необхідна підтримка як вже існуючих стандартів, таких як UMTS, GSM, LTE, так і інших, наприклад, Wi-Fi. Базові станції, що працюють за технологією Wi-Fi можуть використовуватися для розвантаження трафіку в особливо завантажених місцях.

## 4 D2D (Device-to-device).

Технологія device-to-device дозволяє пристроям, що знаходяться неподалік один від одного, обмінюватися даними безпосередньо, без участі мережі 5G, через ядро якої буде проходити лише сигнальний трафік. Перевагою такої технології є можливість перенесення передачі даних в неліцензованому частині спектра, що дозволить додатково розвантажувати мережу.

## **3 ВАРІАНТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІОТ НА БАЗІ ІСНУЮЧИХ ОПЕРАТОРІВ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

### **3.1 Специфікації стільникового зв'язку 3GPP для IoT**

Найбільш перспективним напрямком розвитку «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT) представляється побудова комбінованих мереж IoT, які об'єднують персональні, локальні і глобальні мережі. З цієї точки зору дуже корисним є напрямок, що дозволяє використовувати існуючі мережі 3G/4G для обслуговування численних пристроїв IoT.

Згідно з прогнозами [1,2,3], до 2025 р найбільше зростання пристроїв мобільного зв'язку для IoT буде спостерігатися в таких областях, як побутове обладнання, індустриальна автоматика, медичне обладнання.

З огляду на величезний потенціал IoT, консорціум стандартів мобільного зв'язку 3GPP і провідні світові виробники проводять дослідження, спрямовані на розробку нових технологій і можливості використання існуючих мереж для IoT.

Мобільні пристрої, що працюють в мережах 2G/3G/4G/LTE, підтримують широкий спектр різних сервісних функцій, таких, наприклад, як голосовий зв'язок, передача даних на великій швидкості, потокове відео, високоякісне аудіо і ін. Для більшості додатків IoT ці функції є зайвими.

До мереж WLAN, призначених для використання в проекті IoT, пред'являється ряд спеціальних вимог. Одне з основних з них — це мінімальна ціна при мінімально необхідній функціональності. Величезна кількість різних датчиків в додатках IoT повинні виходити в ефір тільки періодично і тільки для того, щоб відправити накопичену інформацію. При цьому дуже важливе значення має енергоспоживання. У таких додатках, як, наприклад, контроль переміщення вантажів, різні брелоки, стікери, транспондери контролю доступу та інші аналогічні, необхідні модулі з вкрай низьким енергоспоживанням. Ці пристрої, що використовують автономне батарейне живлення, повинні забезпечувати роботу без заміни батареї протягом декількох років. В

англомовній літературі цей тип пристроїв отримав назву Low Power Wide Area (LPWA).

Роботи зі створення єдиного стандарту для пристроїв IoT, що працюють в стільникових мережах, були розпочаті близько 10 років тому. Вперше в документах 3GPP Release 8 були визначені основні параметри зв'язку між різними пристроями, обладнанням та механізмами (Machine Type Communication, MTC). У цьому релізі описані технології LTE Cat. 1, LTE-MTC, LP-WAN і GSM-MTC.

Надалі, в Rel. 10, Rel. 11, Rel. 12, були регламентовані засоби захисту мереж від перевантажень при використанні тисяч підключених пристроїв (SIMTC, NIMTC) і прописані вимоги, що пред'являються до розширених машинним інтерфейсів (Machine Type Communications enhancements, MTCe), а також до пристроїв IoT з мінімально необхідними функціями і низькою вартістю (Low Cost LTE, LC\_LTE).

В останньому документі Rel. 13, прийнятому в липні 2016 р остаточно стандартизовані такі технології IoT LPWA для ліцензованих діапазонів: EC-GSM-IoT, eMTC, NB-IoT [3, 4].

Основні характеристики технологій EC-GSM-IoT, eMTC, NB-IoT наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Основні характеристики технологій EC-GSM-IoT, eMTC, NB-IoT

Найменування	EC-GSM-IoT	eMTC	NB-IoT
Частотний діапазон	Основна смуга частот GSM	Основні робочі смуги частот LTE	Основна і захисна смуги частот LTE, виділені частоти (800/900/1800 МГц)
Рівень покриття (відповідно до TR 36.888/45.820)	164 дБ (33 дБм power class), 154 дБ, (23 дБм power class)	155,7 дБ	164 дБ для виділеної смуги
Схема кодування (передача «вниз», DL)	TDMA/FDMA, GMSK, 8 PSK 1 Rx	OFDMA, 15 кГц, 16 QAM, 1 Rx	OFDMA, 15 кГц, TBCC, 1 Rx

Продовження таблиці 3.1

Схема кодування (передача «вгору», UL)	TDMA/FDMA, GMSK 8 PSK	SC-FDMA, 15 кГц, 16 QAM	Single tone, 15 кГц, 3.75 кГц, SC-FDMA, 15 кГц
Ширина смуги частот приймача МО	200 кГц	1,08 МГц (1,4 МГц carrier bandwidth)	180 кГц (200 кГц carrier bandwidth)
Швидкість передачі даних	250 кбіт/с (DL), 250 кбіт/с (UL multi-tone), 20 кбіт/с (UL single tone)	1 Мбіт/с (DL/UL)	Для DL і UL (4 тимчасових слота): 70 кбіт/с (GMSK) і 240 кбіт/с (8PSK)
Дуплексная передача	HD, FDD	FD і HD (type B), FDD і TDD	HD (type B), FDD
Енергозберігаючий режим	PSM, ext. I-DRX	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX, C-DRX
Категорія мобільного пристрою	уточнюється	Cat. M1	Cat. NB1
Клас потужності	23 дБм, TBD	23 дБм, 20 дБм	33 дБм, 23 дБм

### 3.2 Технологія EC-GSM-IoT

Технологія EC-GSM-IoT (Enhanced Coverage GSM for IoT) була запропонована робочою групою GERAN в рамках проекту 3GPP-R13. Перша назва технології було EC-EGPRS. Надалі в технічній документації стали використовувати також терміни EC-GSM-IoT і EC-GSM. Використовується термін EC-GSM-IoT, прийнятий в релізі 3GPP Rel. 13 [4]. Ця технологія дозволяє пристроям IoT обмінюватися короткими фрагментами даних через мережу GPRS в розширеній зоні покриття до 164 дБ.

Відмінними рисами технології EC-GSM-IoT є:

- збільшена на 20 дБ зона покриття в порівнянні зі стандартним режимом 2G;
- робота в існуючих мережах 2G в режимі GPRS;

- невеликі швидкості передачі даних (до 250 кбіт/с);
- розширений режим енергозбереження (до 10 років безперервної роботи від батареї 5 Вт · год);
- велика кількість обслуговуваних пристроїв в зоні дії базової станції (до 10 000);
- мінімальні ціни на модулі мобільних пристроїв (одиниці євро при масовому виробництві).

На фізичному рівні EC-GSM-IoT працює з тими ж самими частотами, що і старі GSM-мережі покоління 2G. Однак при цьому використовується нова схема кодування TDMA/FDMA, GMSK, 8 PSK 1 Rx. Крім того, введено нові логічні канали EC-BCCH, EC-PCH, EC-AGC, EC-RACH.

У стандарті EC-GSM-IoT використовується метод Blind Physical Layer Repetitions, який дозволяє багаторазово (до 28 разів) повторювати передачу одного пакета без відповіді приймача. Цей метод дозволив збільшити радіус дії до 164 дБ, що на 20 дБ більше, ніж в стандарті 2G. Крім того, такий підхід значно покращує надійність зв'язку в умовах екранування сигналу (підвали, гаражі, міські забудови).

У базовому стандарті LTE Rel. 8 використовується метод, що дозволяє знизити енергоспоживання мобільних пристроїв (МП), який називається Discontinuous Reception (DRX). Принцип роботи DRX полягає в тому, що МП приймає дані від базової станції (БС) не завжди, а тільки в певні періоди. Тобто в певні моменти часу МП відключає приймач і переходить в сплячий режим. У базовому стандарті період обов'язкових сигнальних повідомлень, протягом яких пристрій залишається підключеним до мережі, не передаючи і не отримуючи при цьому жодної інформації, становить кілька секунд. У Rel. 13 використовується розширений інтервал eDRX (Extended Discontinuous Reception), що дозволив збільшити інтервали очікування обов'язкових сигнальних повідомлень до 52 хвилин.

Функція Relaxed Idle Mode (RIM) дозволяє додатково економити енергоспоживання за рахунок спрощення процедури мережевої сигналізації і



відмови від підтримки жорсткого контролю спільної роботи з мережами WCDMA/LTE.

Енергозберігаючий режим Power Efficient Operation (PEO), поряд з RIM і eDRX, дозволяють експлуатувати пристрій IoT в мережі EC-GSM з акумулятором в автономному режимі без підзарядки протягом декількох років.

У таблиці 3.2 приведені значення часу автономної роботи пристрою IoT з підтримкою EC-GSM від акумулятора зі споживанням 5 Вт · год, залежно від величини розміру пакета і інтервалу передачі повідомлень [5]. При використанні коротких пакетів даних розмірами до 200 байт один раз в день термін служби акумуляторної батареї перевищить 10 років для всіх зон покриття - 144, 154 і 164 дБ. Однак, в разі більш частих повідомлень, наприклад кожні дві години по 200 байт, автономна робота без підзарядки в зоні дії EC-EGPRS (164 дБ), термін служби батареї скоротиться до півтора років [2].

Таблиця 3.2 — Час автономної роботи пристрою IoT з підтримкою EC-GSM

Розмір пакета періодичність повідомлень	Час автономної роботи пристрою IoT, роки		
	Покриття GPRS, 144 дБ	Покриття EC- EGPRS, 154 дБ	Покриття EC- EGPRS, 164 дБ
50 байт, 2 ч	> 10	6,0	3,1
200 байт, 2 ч	> 10	2,5	1,2
50 байт, 1 день	> 10		
200 байт, 1 день			

Перехід до технології EC-GSM в мережах 2G може бути реалізований шляхом повної заміни програмного забезпечення з незначною модернізацією обладнання більшості існуючих базових станцій.

Щоб адаптувати існуюче обладнання базових станцій 2G до EC-GSM, необхідно, як мінімум, виконати наступні операції [6, 7]:

- модернізувати рівень RNC відповідно до нової схеми кодування і новими логічними рівнями;
- змінити рівень RLC/MAC всередині PCU таким чином, щоб обслуговувати специфічні повідомлення і процедури на рівні EC-PDCH;

— адаптувати BTS і BSC для роботи з eDRX.

Оскільки мережі 3G/4G підтримують роботу 2G, то пристрої EC-GSM-IoT зможуть працювати і в цих мережах (при зазначених вище доробках). Більш детально технічні особливості стандарту EC-GSM-IoT описані в [4, 8].

Розвитком і підтримкою стандарту EC-GPRS займається міжнародна асоціація EC-GSM-IoT Group, до складу якої в даний час входять такі відомі світові виробники і оператори стільникового зв'язку, як, наприклад, Broadcom Corporation, Cisco Systems, Ericsson, Gemalto NV, Intel Corporation, KDDI Corporation, LG Electronics, MediaTek, Nokia, Oberthur Technologies, Ooredoo, Orange, Samsung Electronics, Saudi Telecom Company, Sierra Wireless, Telit Communications, VimpelCom [3, 9.]

На виставці Mobile World Congress 2016 Барселоні були продемонстровані спільні розробки Ericsson і Nokia для EC-GSM-IoT. Великий інтерес викликали пристрої для велосипедів, а також обладнання для повного комплексного обслуговування процесу виготовлення вина. Численні датчики, які контролюють вміст вологи, мікроелементів в ґрунті і вміст цукру в плодах, дозволяють не тільки поливати і вносити добрива в автоматичному режимі, але також оптимальним чином планувати терміни збору врожаю.

У Франції в 2016 р закінчилося тестування обладнання для EC-GSM-IoT в діапазоні 900 МГц, проведене спільно Ericsson, Orange Labs Networks і Intel.

В результаті цих тестів було показано, що вже сьогодні існуюче обладнання дозволяє збільшити в сім разів зону покриття для додатків, яким не потрібна висока швидкість передачі даних.

Устаткування MediaTek-Nokia для EC-GSM було продемонстровано на виставці Espoo (Finland, 2016). В основі цього рішення використані технології виробництва чіпів MediaTek і обладнання для БС Nokia Flexi Multiradio 10 base station.

В масовий продаж чіпи і модулі EC-GSM-IoT надійдуть в 2017 р Поряд із зазначеними вище технічними характеристиками виробники обіцяють також вкрай низькі ціни на ці модулі і чіпи.

Можливо, в найближчому майбутньому в Україні з'являться мережі з підтримкою EC-GSM-IoT.

### 3.3 Технологія eMTC

Абревіатура eMTC означає LTE enhancements for Machine-Type Communications, тобто розширення стандарту LTE для комунікації між різними механізмами і пристроями. Використовується термін eMTC, прийнятий в базовій документації 3GPP [4]. Стандарт eMTC, по суті, є адаптацією високошвидкісних технологій LTE (Rel. 8-11) для використання в IoT-додатках. У цьому стандарті розробники відмовилися від надлишкової функціональності і швидкодії стандартів LTE Rel. 8-11. В технології eMTC підтримується тільки передача невеликих пакетів даних (1000 біт) зі швидкостями до 1 Мбіт/с в обох напрямках.

У eMTC підтримуються основні характеристики структури LTE Rel. 8, такі, наприклад, як: кодування; розподіл спектра частот; розміщення піднесучих частот, тривалості кадру, підкадрів, слота, символу; частота семплірування; кількість символів в сабфреймі.

У стандарті eMTC використовуються такі ж методи доступу, як і в LTE Rel. 8, а саме — OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) для напрямку «вниз» і SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) 16 QAM для напрямку «вгору». В існуючій швидкодіючої технології LTE Rel. 8 стандартизовані смуги пропускання з шириною каналу: 1,4; 3; 5; 10; 15; 20 МГц. З цих значень смуг пропускання в стандарті eMTC вибрано тільки одне значення ширини каналу — 1,4 МГц. Решта відмічені смуги пропускання залишені для пристроїв стандарту LTE Rel. 8.

В технології OFDM застосовується передача широкосмугового сигналу, заснована на незалежній модуляції вузькосмугових, розташованих з певним кроком по частоті несучих. Кожен OFDM-символ містить набір модульованих піднесуть. У тимчасовій області OFDM-символ включає поле корисної

інформації і циклічний префікс CP (Cyclic Prefix), дублюючий фрагмент кінця попереднього символу.

Для кожного мобільного пристрою в LTE Rel. 8 виділяється певний діапазон каналних ресурсів в частотно-часовій області, яка отримала назву «ресурсна структура» (resource structure RS). Осередок RS, яка визначається, як «ресурсний елемент» (resource element, RE), відповідає одній піднесучій в частотній області та одному OFDM-символу в тимчасовій. Ресурсні елементи утворюють «фізичний ресурсний блок» (physical resource block, PRB), який займає 12 піднесучих частот, або 6 OFDM-символів в стандартному варіанті. При цьому загальна тривалість слота становила 0,5 мс. Одна піднесуча, помножена на один символ, визначає ресурсний елемент RE. Кількість ресурсних блоків PRB в ресурсній структурі визначається шириною смуги каналу і може приймати значення від 6 до 110.

На рисунку 3.1 показана схема трансляції даних за технологією eMTC при роботі в модернізованій мережі LTE Rel. 8 [2].

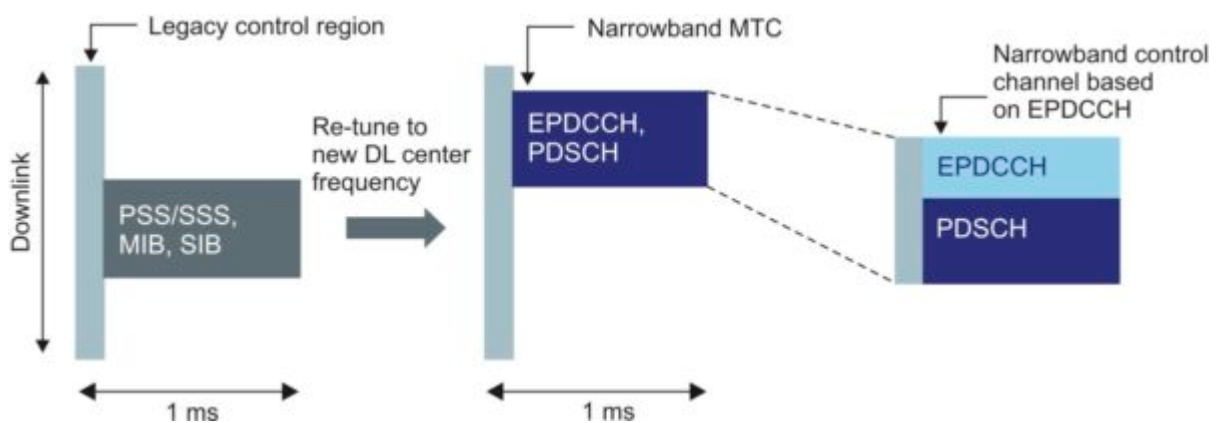


Рисунок 3.1 — Схема трансляції даних за технологією eMTC при роботі в мережі LTE Rel. 8

Синхронізація роботи БС з МП здійснюється в стандарті LTE за допомогою сигналів Primary Synchronization Signal (PSS) і Secondary Synchronization Signal (SSS). Синхронізація по ТТІ-слотів і OFDM-символів, а також обчислення фізичного ідентифікацію стільникової мережі (Physical Layer

Cell Identity, PCI) реалізується через PSS, який передається в 0 і 10 слотах кожного кадру.

Блок службової інформації MIB (Master Information Block), що містить базові параметри радімережі (ширина каналу, конфігурація каналу PBCH, поточний номер кадру System Frame Number SFN), передається по фізичному радіомовному каналу PBCH (Physical Broadcast Channel).

Інформація, що характеризує персональні дані конкретного МП, передається в посилках SIB по фізичному каналу PDSCH (Physical Downlink Shared Channel), призначеному для передачі «вниз» інформації каналів DL-SCH і PCH.

Фізичний канал управління PDCCH (Physical Downlink Control Channel) в стандарті LTE Rel. 8 визначено для передачі «вниз» інформації про призначення каналного ресурсу транспортних блоків PCH, DL-SCH, UL-SCH і HARQ інформації, що відноситься до каналу DL-SCH. У Rel. 11 додатково введено розширений канал EPDCCH, який визначає специфічні особливості МП. Різні МП мають різні EPDCCH. Детально всі ці функції описані в [10].

У стандарті eMTC збережена базова архітектура LTE Rel. 8 для смуги 1,4 МГц. Разом з тим є і ряд відмінностей. Так, наприклад, на фізичному рівні залишені канали EPDCCH і PDSCH. Канали PCFICH і PHICH стандарту LTE Rel. 8 в eMTC не використовуються.

Стандарт eMTC забирає тільки смугу 1,4 МГц (або 6 PRB) з усіх можливих смуг пропускання, відведених для LTE Rel. 8. МП IoT завжди налаштовані на центр 6 PRB в очікуванні контрольної інформації. Коли МП отримує сеанс зв'язку з БС, йому будуть виділені відповідні фізичні ресурсні блоки (аж до 6 PRB) на будь-якій ділянці всередині робочого діапазону. Це, наприклад, означає, що МП eMTC займе смугу шириною 1,4 МГц всередині смуги LTE Rel. 8 шириною 20 МГц.

Спеціальні контрольні посилки і корисні дані мультиплекуються в частотному домені. При цьому ігнорується контрольна інформація базового стандарту LTE. Такий підхід дозволяє підтримувати роботу МП IoT на частотах

БС LTE при заданих параметрах потужності, чутливості і алгоритмів передачі для конкретних типів МП. Таким чином, при мінімальних доробках обладнання БС можна реалізувати одночасне обслуговування десятків тисяч МП IoT і сучасних повнофункціональних смартфонів, гаджетів, ПК на мережах LTE, уникаючи при цьому можливих колізій між цими пристроями.

В технології eMTC застосовуються відмічені в попередньому розділі механізми eDRX і PSM, які дозволяють помітно знизити енергоспоживання МП в порівнянні з пристроями LTE Rel. 8. Тривалість часу автономної роботи від однієї батареї типу AA можна приблизно оцінити, використовуючи дані таблиці 3.2. Оскільки швидкість передачі даних в eMTC значно більше, ніж в EC-GSM-IoT, то час передачі одного і того ж обсягу даних в мережах eMTC буде менше. Це означає, що при однаковому класі потужності (23 дБм) час автономної роботи МП eMTC буде більше. Теоретично, максимальний час автономної роботи МП eMTC від батареї 5 Вт · год при передачі 200 біт даних один раз в день може досягти величини 36 років. Реальні оцінки дещо менше.

Стандарт eMTC забезпечує покриття 155,7 дБ, що на 15 дБ більше в порівнянні з LTE Rel. 8. Нагадаємо, що в базовому стандарті LTE всі вимоги до спектральної ефективності, пропускної спроможності і роботи з МП, прописані в Rel. 8-11, повинні виконуватися при радіусі стільники в 5 км. У стандарті eMTC збільшення радіусу дії реалізується за допомогою зазначених раніше механізмів, таких, наприклад, як підвищення пікової потужності для корисних і інформаційних повідомлень (Power Boosting, PB), багаторазове повторення повідомлень (retransmission RT) і спрощення алгоритму передачі даних (Relaxing Performance Requirements, RPR).

У стандарті LTE Rel. 8 використовується досить складна процедура ідентифікації МП, яка реалізована безпосередньо в мережі радіодоступу (NAS, RRC, SRB, DRB, PDCP, RLC і т. Д.).

Для простих МП IoT багатоступенева процедура ідентифікації стандарту LTE Rel. 8 не потрібна. Тому в стандарті eMTC початковий етап зв'язку істотно

спрощений. Це дозволяє збільшити кількість МП, що обслуговуються однією БС, до декількох десятків тисяч.

Детально вимоги, що пред'являються стандартом Rel. 13 до МП і БС, викладені в численних документах, присвячених конкретним функціям і параметрам [4].

Таким чином, використання існуючих мереж LTE для МП стандарту eMTC дозволить в найближчому майбутньому здійснити з мінімальними витратами масштабне впровадження в життя численних додатків IoT. МП стандарту eMTC можуть працювати в існуючих мережах 3G/4G при установці на БС нового програмного забезпечення, займаючи всього один канал. Решта смуги пропускання будуть як і раніше використовуватися стандартним обладнанням LTE Rel. 8. Тому в існуючих мережах 4G можуть одночасно працювати як високошвидкісні смартфони і гаджети з підтримкою LTE і LTE-A, так і повільні пристрої мобільного зв'язку IoT.

Для зниження вартості простих МП eMTC передбачається використовувати напівдуплексний режим передачі і одну антену. Порівнюючи функціональні можливості МП Rel. 8 і Rel. 13, можна сказати, що МП стандарту eMTC приблизно на 80% простіші, ніж МП стандарту Rel. 8. Експериментальні зразки чіпів для eMTC містять на одному кристалі радіочастотний блок з вихідною потужністю 20 дБ і сигнальний процесор. Передбачається, що при масовому виробництві ціна чіпа eMTC може бути знижена до одиниць євро.

Провідні світові виробники мікросхем для бездротового зв'язку ведуть розробки чіпів, призначених спеціально для IoT. Як приклад можна привести провідного виробника комплектуючих для WiMAX і LTE - французьку фірму Sequans Communications SA

У лютому 2016 р Sequans Communications представила в Парижі свій новий чіп Monarch, який був розроблений спеціально для пристроїв IoT LTE Cat. M1/NB1 [11]. Цей чіп, що містить на одному кристалі трансмітер, процесор

і блок живлення, повністю задовольняє вимогам стандарту 3GPP Rel. 13, що пред'являються до пристроїв Narrowband LTE Cat. M1/NB1 (M2).

Характерними особливостями чіпа Monarch є виключно низьке енергоспоживання (DPM) і програмований радіочастотний блок, що дозволяє використовувати для роботи стандартну смугу LTE 1,4 МГц (Cat. M1), а також смугу 200 кГц (Cat. M2). Чіп підтримує напівдуплексні режими FDD (HD-FDD) і повний дуплекс FDD, TDD. Залежно від моделі та вибору параметрів чіп Monarch може бути використаний в пристроях LTE Cat M1 (швидкості передачі 375 кбіт/с — DL, 300 кбіт/с — UL) або в пристроях LTE Cat. NB1 (швидкості передачі 45 кбіт/с — DL, 40 кбіт/с — UL). Чіп оснащений послідовним інтерфейсом з підтримкою розширеного режиму енергозбереження.

Чіп виготовлений в конструктиві FC-CSP package з габаритними розмірами  $6,5 \times 8$  мм. Як заявляють розробники, пристрої IoT на базі Monarch можуть працювати зі стандартною батареєю протягом 10-15 років. Monarch відразу привернув до себе увагу виробників кінцевого обладнання. Так, наприклад, Verizon і Gemalto збираються використовувати цей чіп в своїх нових пристроях для IoT. На прес-конференції в Парижі віце-президент фірми Device Technology at Verizon зазначив, що Verizon перша в світі запустила комерційну мережу пристроїв IoT LTE Cat. 1. Тому, використовуючи досвід подібних робіт, фірма зробить все можливе для того, щоб першою запустити також і мережа IoT LTE Cat. M1/M2.

У наприкінці 2015 року компанія Qualcomm анонсувала нові розробки: чіп MDM9207-1 з підтримкою LTE Cat. 1 і чіп MDM9206, призначений для роботи в мережах з підтримкою LTE Cat. M (eMTC NB-IoT) [12]. На виставці 3GSM World Congress Qualcomm в лютому 2016 р представила зразки чіпа MDM9207-1, основні технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.3.



Таблиця 3.3 — Основні технічні характеристики чіпа QUALCOMM MDM9207-1

стандарти 3GPP	LTE Category M1, Single mode/multimode, LTE FDD, LTE TDD, DC-HSPA, GSM, TD-SCDMA
процесор	ARM Cortex A7, 1,2 ГГц
РЧ-блок	Qualcomm RF360™ Front End Solution
технологія	28 нм
Швидкість передачі	10 Мбіт/с (DL), 5 Мбіт/с (UL)
приймач	Dual Rx/Single Rx
режим енергозбереження	Power Save Mode (PSM)
Час автономної роботи від однієї батареї	10 років
Програмне забезпечення	Qualcomm Snapdragon X5 LTE Cat 1
Безпека	Вбудований програмно-апаратний блок безпеки
Аудіо	Підтримка Circuit Switched Fall Back (CSFB) і VoLTE
Операційне середовище	Linux
системи позиціювання	Вбудований ГНСС з підтримкою GPS, Beidou, Glonass, Galileo
Стандарти IEEE 802	Підтримка Qualcomm VIVE™ Wi-Fi 1 × 1, 802.11ac Qualcomm MU/EFX, BT 4.1 BLE
антена	MU-MIMO

Що стосується чіпа MDM9206, то про нього Qualcomm говорить тільки те, що він буде повністю відповідати стандарту 3GPP Rel. 13 і надійде в продаж в 2017 р Іншої інформації про цей чіп на момент підготовки роботи у відкритому доступі не було.

### 3.4 Технологія NB-IoT

Технологія Narrow-Band IoT (NB-IoT) регламентована поряд із зазначеними вище технологіями в стандарті 3GPP Rel. 13. Інша назва, що зустрічається в англійській літературі, - LTE Cat. NB1. Ця технологія базується на так званому методі «вузькополосного радіозв'язку» (narrowband), який використовується для передачі невеликих пакетів даних з малими швидкостями (табл. 3.1) . Швидкості передачі в технології NB-IoT складають 70 кбіт/с (GMSK) і 240 кбіт/с (8PSK) для напрямків UL і DL відповідно. Ширина смуги — 180 кГц. Технологія NB-IoT розроблена спеціально для широкого кола пристроїв IoT, серед яких можна, наприклад, назвати обладнання для додатків «розумного будинку», пристрої для контролю перевезення вантажів, персональні медичні датчики безперервного моніторингу, вуличне освітлення та інші аналогічні пристрої.

Нижче перераховані основні характерні особливості МП технології NB-IoT:

- скорочений розмір транспортного блоку для обох напрямків (DL/UL);
- спрощений процес гібридного автоматичного запиту на повторну передачу даних (HARQ) для обох напрямків (DL/UL);
- підтримка тільки однопотокового режиму передачі в обох напрямках (DL/UL);
- тільки одна антена в мобільному пристрої;
- відсутність необхідності в турбодекодері при використанні каналу TBCC в режимі DL;
- відмова від контролю реєстрації в мережі при нормальному режимі роботи (контроль залишений тільки для Idle mode);
- маленька швидкість передачі;
- вузька смуга пропускання;
- можливість роботи тільки в економічному напівдуплексному режимі (HD-FDD);

- клас потужності мобільного пристрою 23 дБм;
- вбудований підсилювач потужності;
- тільки послідовна обробка при прийомі і передачі повідомлень.

У стандарті 3GPP Rel. 13 розглянуті три варіанти частотних діапазонів для технології NB-IoT:

- Stand Alone — використання несучої стандартної технології GSM для смуги NB-IoT;
- Guard Band — в якості робочого діапазону використовується захисний інтервал стандартного варіанту технології LTE Rel. 8;
- In Band — робоча смуга частот знаходиться всередині дозволеного спектру стандартного варіанту технології LTE Rel. 8.

При першому включенні МП NB-IoT здатні самостійно вибирати один з трьох можливих сценаріїв роботи [13], Які їм пропонує БС. Аналогічно тому, як це організовано в стандартних мережах LTE Rel. 8, МП NB-IoT при реєстрації в мережі шукають опорну несучу в растрі 100 кГц. При цьому опорна несуча може бути розміщена тільки в певних ресурсних блоках PRB.

В технології NB-IoT необхідна мінімальна смуга пропускання 180 кГц, як для передачі даних від БС до МП, так і в зворотному напрямку. Тому оператори існуючих мереж 2G можуть використовувати одну несучу (200 кГц) для роботи з пристроями NB-IoT в режимі Stand Alone. Найбільш просто цей режим можна реалізувати на існуючих мережах в діапазонах 700/800/900 МГц.

Якщо існуюча мережа підтримує 2G/3G/4G, то технологія NB-IoT дозволяє використовувати всі три смуги. У цьому випадку в мережах LTE для пристроїв IoT передбачається використовувати діапазон 800 МГц.

Оператори мереж LTE можуть реалізувати підтримку NB-IoT всередині існуючих мереж за рахунок виділення одного з ресурсних блоків (PRB) 180 кГц під потреби LTE Cat. NB1. Радіоінтерфейс NB-IoT оптимізований для спільного використання з класичним LTE Rel. 8 таким чином, щоб уникнути будь-яких можливих колізій цих технологій всередині робочої смуги пристроїв IoT.

При роботі в режимі In Band технологія NB-ІоТ використовує основні базові характеристики класичного LTE Rel. 8 — такі, наприклад, як методи доступу до середовища OFDMA (DL) і SC-FDMA (UL), каналне кодування, узгодження швидкості передачі, побітове перемешивание і ін.

У низхідному каналі NB-ІоТ, що базується на методі OFDMA, використовується такий же інтервал між поднесущими, як і в класичному LTE Rel. 8, — 15 кГц. Так само, як в стандарті LTE Rel. 8, в технології NB-ІоТ тривалості кадрів, підкадрів і інтервалів між фреймами становлять 0,5, 1, 10 мс відповідно. Крім того, в цих технологіях формат слота, циклічний префікс і кількість OFDM-символів в слоті однакові. По суті, в технології NB-ІоТ несучі в частотній області використовують один фізичний ресурсний блок LTE PRB. Таким чином, дванадцять піднесучих, кожна по 15 кГц, в результаті визначають смугу 180 кГц.

При передачі даних від МП до БС в технології NB-ІоТ підтримуються два режими: Multi-tone transmission (MTT) і Single-tone transmission (STT). Режим MTT, заснований на методі Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SCFDMA), використовує ті ж, що і в класичному варіанті LTE, параметри піднесуть (15 кГц/0,5 мс) і підкадрів (1 мс). У немодульованих варіанті режиму STT в технології NB-ІоТ застосовуються дві частоти піднесучих. Одна з них — 15 кГц — збігається з класичним варіантом LTE Rel. 8. В іншому діапазоні, 3,75 кГц, використовується інтервал між слотами 2 мс, що є особливістю технології NB-ІоТ. Ширина смуги в висхідному каналі дорівнює 180 кГц.

В технології NB-ІоТ передача від БС до МП реалізується за допомогою трьох фізичних каналів: вузькосмугового фізичного радіомовного каналу (Narrowband Physical Broadcast Channel, NPBCH), вузькосмугового фізичного контрольного каналу передачі DL (Narrowband Physical Downlink Control Channel, NPDCCH) і вузькосмугового фізичного мультиплексного каналу передачі DL (Narrowband Physical Downlink Shared Channel, NPDSCH).

МП NB-IoT підтримує в режимі прийому роботу наступних сигналів по фізичних каналах:

- вузькосмугового сигналу первинної синхронізації (Narrowband Primary Synchronization Signal, NPSS);
- вузькосмугового сигналу вторинної синхронізації (Narrowband Secondary Synchronization Signal, NSSS);
- вузькосмугового опорного сигналу (Narrowband Reference Signal, NRS).

На відміну від стандартного LTE Rel. 8, в технології NB-IoT робота фізичних каналів і транслявання сигналів попередньо розподіляються за часом.

Процес багатоканальної передачі від БС до МП схематично показаний на рисунку 3.2 [14].

	subframe number									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
even number frame	NPBCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPSS	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NSSS
odd number frame	NPBCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPSS	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH

Рисунок 3.2 — Схема багатоканальної передачі від базової станції до мобільного пристрою в технології NB-IoT

Сигнал NPSS передається в підкадрі № 5 кожні 10 мс з використанням 11 символів OFDM. Процес реєстрації та обробки сигналу NPSS являє собою досить складну процедуру, що складається з декількох послідовних етапів декодування [14]. Сигнал NSSS транслюється з періодом в 20 мс в підкадрів № 9 (11 PRB) ресурсних блоків. У загальній сумі сигналу NSSS є 132 елемента, розподілених по кодованим тимчасовим проміжкам.

Інформаційні дані (MIB) передаються по каналу NPBCH в кожному фреймі в підкадрі № 0, залишаючись незмінними протягом 640 мс інтервалу часу передачі (TTI).

Каналом NPDCCH транслиються інструкції спільного використання каналів для обох напрямків передачі (UL/DL).

Деякі відмінності між LTE Rel. 8 і NB-IoT існують і в структурі передачі даних від МП до БС. Більш детально ці відмінності описані, наприклад, в [14, 15].

Важливо підкреслити, що мережі NB-IoT можуть з невеликими витратами бути реалізовані на базі існуючих мереж LTE Rel. 8-11, без шкоди обслуговування користувачів складних планшетів, гаджетів і смартфонів, які повністю підтримують всі функції стандартів 3G/4G+.

Так само, як і в інших технологіях стандарту 3GPP Rel. 13, в NB-IoT підтримуються режими енергозбереження і збільшеного радіусу дії. Наприклад, МП NB-IoT з покриттям 164 дБ може працювати 10 років від однієї батареї, якщо воно передає 200 байт інформації один раз в день [14].

Важливою особливістю NB-IoT, на яку слід звернути увагу, є можливість підтримки безлічі пристроїв IoT при використанні тільки одного ресурсного блоку (PRB) в обох напрямках (DL/UL). Це досягається за рахунок того, що в технології NB-IoT введена додаткова піднесуча NPUSCH для режиму UL, що дозволяє істотно оптимізувати передачу даних в ресурсному блоці. Крім того, ця технологія дозволяє використовувати метод з декількома несучими.

Розробкою технології і пристроїв NB-IoT займаються провідні фірми світу, які об'єднані в міжнародну асоціацію GSMA NB-IoT Forum. В даний час в числі учасників форуму такі компанії, як Ericsson, Huawei, Intel Corporation, LG Electronics, MediaTek, Nokia, Qualcomm, Sequans Communications, Sierra Wireless, Telit, u-blox, ZTE Corporation і ін. [16].

Одним з найбільш активних розробників проекту NB-IoT є шведський концерн Ericsson. Тестові випробування, які провели Ericsson і Orange у Франції в Парижі 16 лютого 2016 р показали можливість використання існуючих мереж LTE для розгортання їх на основі ефективної NB-IoT в діапазоні 900 МГц. Спільно Ericsson і AT & T анонсували запуск нового програмного рішення NB-IoT (Network Software-17A) на існуючих мережах LTE. Як наголошується в

прес-релізах Ericsson, результати продемонстрованих тестових випробувань дозволили укласти довгострокові контракти між Ericsson і China Unicom про спільну розробку архітектури IoT для китайського комплексного вирішення мобільної мережі IoT з використанням діапазонів 900 і 1800 МГц.

### 3.5 Вибір оптимального оператора мобільного зв'язку

На території України основними операторами є Київстар, Vodafone (Україна) і Lifecell, які разом займають більше 97,5% ринку мобільного зв'язку в Україні (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 — Основні мобільні оператори України

	Оператор	Технології	Кількість абонентів, млн	Власники
1	Київстар	GSM, UMTS - HSPA+, LTE Advanced	25,3	VimpelCom Ltd. (100%)
2	Vodafone (Україна) / Yezz!	GSM, CDMA, UMTS - HSPA+, LTE	20,7	NEQSOL Holding [5] (100%)
3	Lifecell	GSM, UMTS - HSPA+, LTE Advanced Pro	9,7	Turkcell (100%)
4	Інтертелеком	CDMA2000 EV-DO Rev.B/LTE 900	1,313	Odinaco Ltd (Кіпр, 49%), Віктор Гушан (35,7%) [7]
5	3Mob / Lycamobile	UMTS (використовує GSM-мережу Vodafone (Україна) в режимі національного роумінгу, там, де немає UMTS)	0,839	Укртелеком (100%)
6	PEOPLEnet	CDMA (покриття є лише в Дніпропетровській та Харківській областях)	0,866	Телесистеми України (100%)

Також проведено дослідження якості мобільного Інтернету в Україні і складала рейтинг мобільних операторів за рівнем сервісу.

Кращий мобільний інтернет виявився у «Київстару», на другому місці lifecell , а на третьому Vodafone Ukraine (рисунок 3.3-3.5).

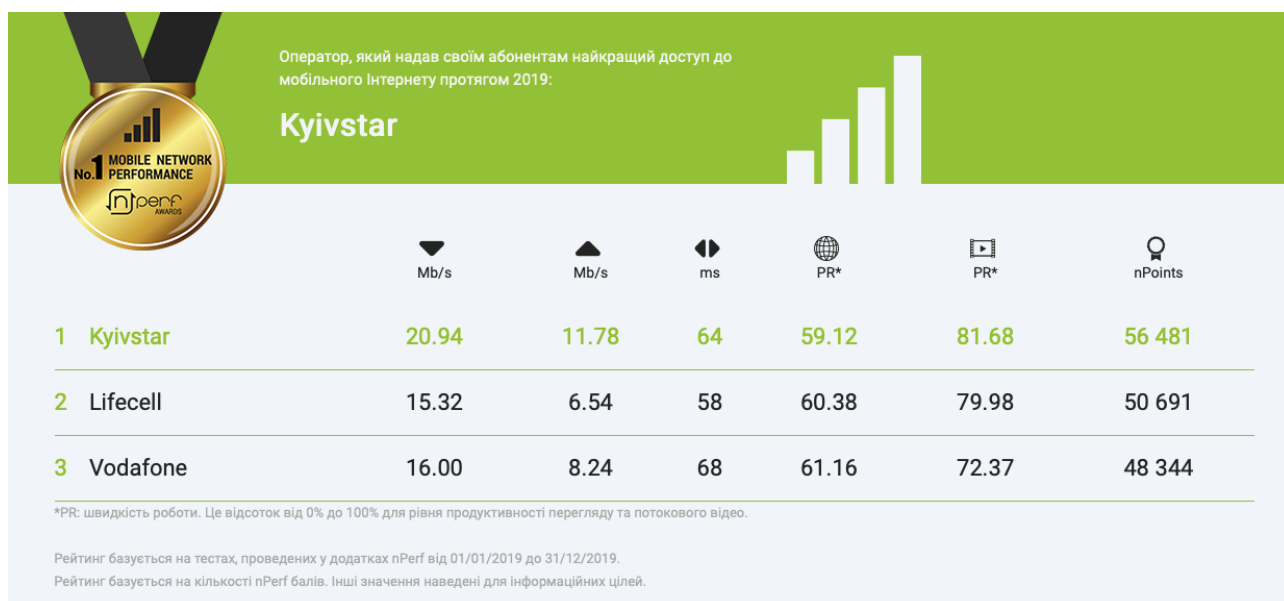


Рисунок 3.3 — Результати досліджень якості мобільного Інтернету в Україні

Дослідження проводилося в період з 1 січня по 31 грудня 2019 року. Аналізувались результати тестів швидкості передачі і отримання даних, стабільність роботи послуг мобільного Інтернету, завантаження веб-сторінок, якість відео стрімінга і інші показники.

Середня швидкість завантаження даних в мережі «Київстар» за даними тестів склала 20,9 Мбіт/с, а передача даних 11,7 Мбіт/с — це стало найкращим результатом серед операторів «великої трійки». У той же час lifecell показав найнижчу затримку, а Vodafone Ukraine — швидкість завантаження веб-сторінок і стабільність роботи мобільної мережі.

Вимірювання збирали через веб-сайт nPerf.com і партнерські сайти (для даних фіксованої лінії), а також на мобільних додатках nPerf (для мобільних даних). Тести проводяться безпосередньо абонентами.



nperf We qualify your connection		КІЇВСТАР	lifecell	vodafone
1 <sup>re</sup> de la catégorie		Kyivstar	Lifecell	Vodafone
Success ratio		88.10 %	87.24 %	88.19 %
Download bitrate		20.94 Mb/s	15.32 Mb/s	16.00 Mb/s
Upload bitrate		11.78 Mb/s	6.54 Mb/s	8.24 Mb/s
Latency		64.29 ms	58.35 ms	67.96 ms
Browsing (performance rate)		59.12 %	60.38 %	61.16 %
Streaming YouTube (performance rate)		81.68 %	79.98 %	72.37 %
<b>2G/3G/4G Score nPerf *</b>		<b>56 481</b> nPoints	<b>50 691</b> nPoints	<b>48 344</b> nPoints

\* The formula for calculating the score has changed since 1 January 2018, so the values are not comparable with those of previous publications. See details in the publication.

Рисунок 3.4 — Результати досліджень якості мобільного Інтернету в Україні

The overall breakdown of the tests per provider is as follows:

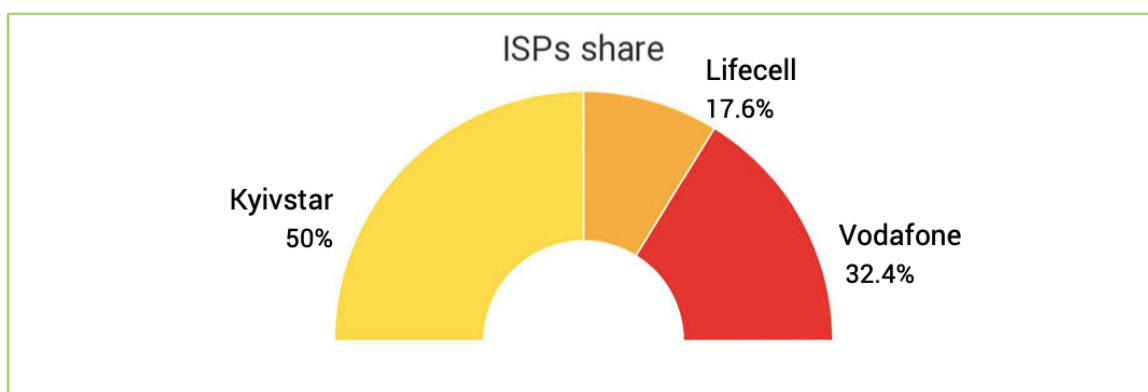


Рисунок 3.5 — Результати досліджень якості мобільного Інтернету в Україні

Всього провели більш 26 000 тестів, у всіх мережах: 2G, 3G і 4G. Найбільше випробувань пройшли в мережі «Київстарту», частки Vodafone і lifecell нижче.

Проте варто відзначити той момент, що лише Vodafone успішно пройшов тестування мережі NB-IoT. Vodafone Україна успішно завершила наступний етап розвитку Інтернету речей (IoT) в Україні та оголосила, що успішно випробувала власну мережу NB-IoT (Вузькосмуговий Інтернет речей) у Києві.

Випробування проводились на сегменті київської мережі Vodafone з використанням споживчого обладнання. Це спеціальні модулі для інтелектуальних вимірювань, які мають можливість автоматичної передачі вимірювань і мають дуже низьке споживання енергії як в режимі очікування, так і в режимах обміну даними. Підключивши такі пристрої до мережі NB-IoT, ви зможете досягти економічного використання ресурсів та продовжити термін служби батареї до 10 років.

Пристрої NB-IoT можуть взаємодіяти між собою на спеціальній частоті 1800 МГц. У той же час ці пристрої забезпечують стабільний доступ до мережі навіть у важкодоступних місцях, таких як підвали та шахти ліфтів. Пропозиція технологій NB-IoT базується на мережі LTE. Коротше кажучи, це забезпечує високий рівень безпеки для користувачів та партнерів. Шифрування та перевірка особистості на основі SIM-картки ще не доступні для таких технологій, як LoRa. У той же час ємність мережі набагато більша, ніж голосова мережа, і одна базова станція може підключити до 1000 пристроїв. Ви можете збільшувати масштаб за потреби. Vodafone Україна активно працює з клієнтами та партнерами для подальшого тестування мережі NB-IoT по всій Україні та повної підготовки її до комерційного запуску.

Інтернет речей є одним із пріоритетів Vodafone. З введенням 4G в липні 2018 року Україна зможе реалізувати розвиток Інтернету речей. Щоб запустити рішення IoT, Vodafone спеціально запропонував мережу NB-IoT на базі власної мережі 4G. На даний момент доступно понад 60% українців. Ця технологія була сертифікована та стандартизована GSMA в липні 2016 року та успішно впроваджена Vodafone Group.

Vodafone Україна підключена до глобальної платформи IoT через Vodafone, провідного світового постачальника рішень IoT. Тому клієнти Vodafone в Україні мають доступ до найкращих світових платформ для систематичного та централізованого управління рішеннями IoT своєї компанії.

У серпні 2018 року Vodafone оголосив про початок національного проекту Vodafone Smart City. Цей проект включає впровадження «розумної» технології Vodafone. Він був розроблений у глобальному центрі досліджень та розробок оператора та успішно впроваджений у європейські міста, органи місцевого самоврядування та соціальну сферу суспільного життя. Це рішення буде впроваджено на базі європейської платформи IoT Vodafone на прикладах з Лондона, Амстердама, Мюнхена та Лісабона. Щоб отримати додаткову інформацію про рішення SmartCity від Vodafone, перегляньте посилання.

Vodafone формує ринок українських цифрових рішень. Компанія запустила програму альянсу IoT, хмарних та великих даних та готується до роботи з українськими розробниками програм та рішень, інтеграторами, стартапами та розробниками обладнання. Ви можете подати свої пропозиції на сторінці програми членства.

### 3.6 Мікропроцесорні засоби IOT на базі обраного оператора зв'язку

#### 3.6.1 Модуль BC95

На виставці MWC світові лідери виробництва комплектуючих для бездротового зв'язку представили ряд нових розробок для NB-IoT, серед яких можна виділити чіпи, розроблені Sequans Communications і Intel.

В середині вересня 2016 р китайська фірма Quectel Wireless Solutions анонсувала новий модуль BC95, призначений для роботи в мережах NB-IoT і відповідний вимогам Rel. 13 [17]. Модуль використовує вузьку смугу 200 кГц ліцензованого діапазону частот стільникового зв'язку. Перший варіант модуля BC95 NB-IoT Quectel працює на частоті 900 МГц. Наступні модифікації будуть підтримувати також частоти 1800, 700, 850 і 800 МГц.

Відмінними рисами модуля BC95 є:

- вкрай низьке енергоспоживання;
- маленькі габаритні розміри;
- висока чутливість;

- невелика швидкість передачі даних;
- послідовний інтерфейс;
- індустриальний температурний діапазон;
- модернізовані протоколи Embedded Internet;
- можливість роботи з eSIM;
- апаратна сумісність з GSM/GPRS-модулем M95;
- наявність налагоджувальних засобів, дослідних зразків і всебічної технічної підтримки.

Низька споживана потужність (15 мкВт), за словами виробника, може забезпечити безперервну роботу модуля від однієї батареї протягом десяти років. Простота протоколу взаємодії з БС дозволяє задіяти десятки тисяч мобільних пристроїв з модулем BC95 в районі дії однієї БС. Мережа NB-IoT з такими мобільними пристроями може бути розгорнута на базі існуючих станцій стандарту 2G/3G.

Структурна схема модуля BC95 NB-IoT Quectel показана на рисунку 3.6.

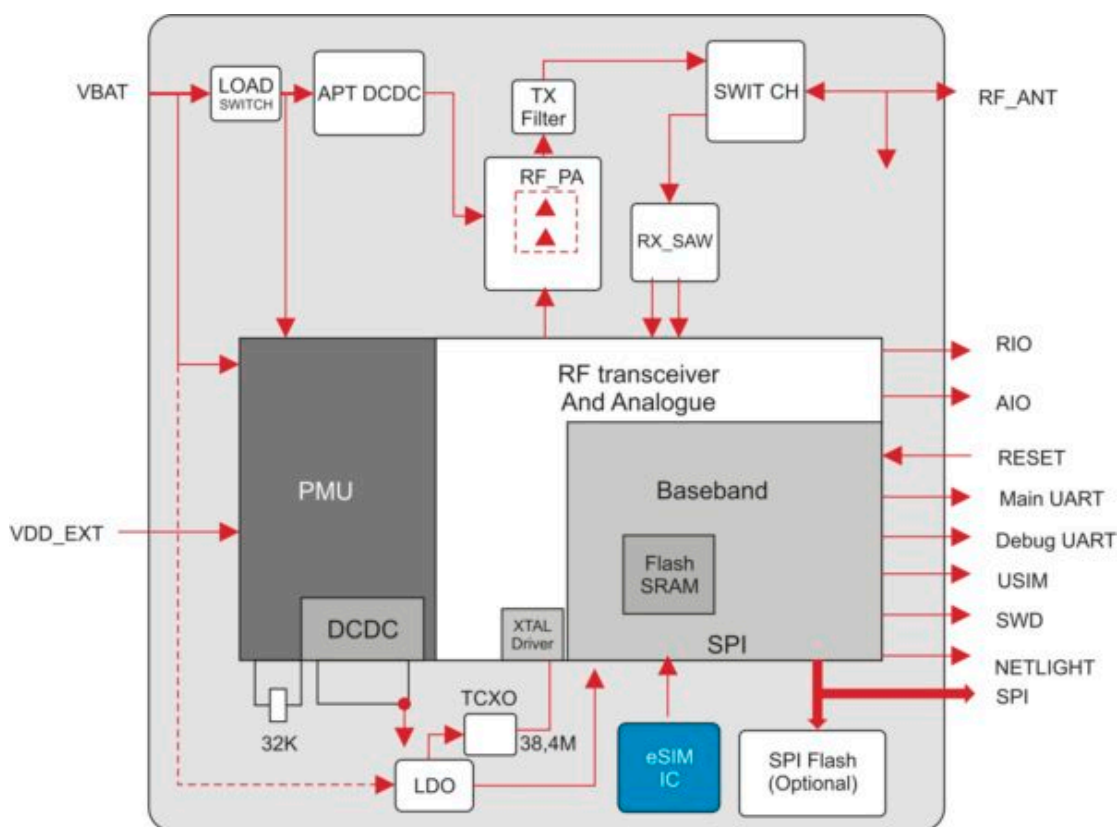


Рисунок 3.6 — Структурна схема модуля BC95 NB-IoT Quectel

Модуль BC95 виготовлений на базі чіпа Boudica, 3GPP-based NB-IoT Chipset, розробленого структурним підрозділом Huawei. Базовий чіп містить на одному кристалі радіочастотний трансивер, аналоговий блок обробки, модуль сигнального процесора, блок електроживлення, інтерфейс SPI і пам'ять (SRAM, FLASH).

Технічні характеристики модуля BC95 NB-IoT Quectel наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 — Технічні характеристики модуля BC95 NB-IOT QUECTEL

Стандарт	NB-M2M (3GPP-TR-45.820), NB-IOT protocols
Частотний діапазон	B8, 900 МГц
Швидкість передачі	Від 100 біт/с до 100 кбіт/с
Вихідна потужність, дБм	23
Чутливість, дБм	-135
Енергоспоживання, мкВт	15
SIM/USIM	1
UART	2
Конструктив	LCC
Кількість виводів	94
Напруга живлення, В	3,0-4,2 (типове значення 3,8)
Діапазон температур, °С	робочих -40 ... + 85
Габаритні розміри, мм	19,9 × 23,6 × 2,2
Інтерфейс управління	AT-команди відповідно до 3GPP TR 45.820 + унікальні команди Quectel
Послідовний порт	2 × UART
Завантаження та налагодження	У поточній версії використовується SWD
Прикладні утиліти на SIM-карті	SIM Application Toolkit
АЦП	2
зовнішній перезапуск	Вивід RESET
Антенa	Радіочастотний вивід для зовнішньої антени

Ця модель має поліпшену чутливістю і не критична до коливань напруги живлення в діапазоні 3,0-4,2 В, що дозволяє експлуатувати модуль протягом декількох років при поступовій втраті заряду батареї. У поточній версії модуля

BC95 завантаження і налагодження реалізуються за допомогою Serial Wire Debug (SWD). Цей простий і зручний інтерфейс дозволяє отримувати інформацію через дві інформаційні лінії.

У модулі підтримується інтерфейс SAT (SIM Application Toolkit), який відповідає стандарту GSM 11.14. Цей інтерфейс є прикладної утилітою, що дозволяє модулю відпрацьовувати прикладні програми, записані на SIM-карті. Модуль оснащений двома АЦП. Для зовнішнього перезапуску є спеціальний вивід. Зовнішня антена підключається через радіочастотний роз'єм.

BC95 виконаний в стандартному конструктиві LCC в форм-факторі, що дозволяє переходити від існуючих стандартних GSM/GPRS-модулів (M95) до мобільних пристроїв NB-IoT (рисунок 3.7).

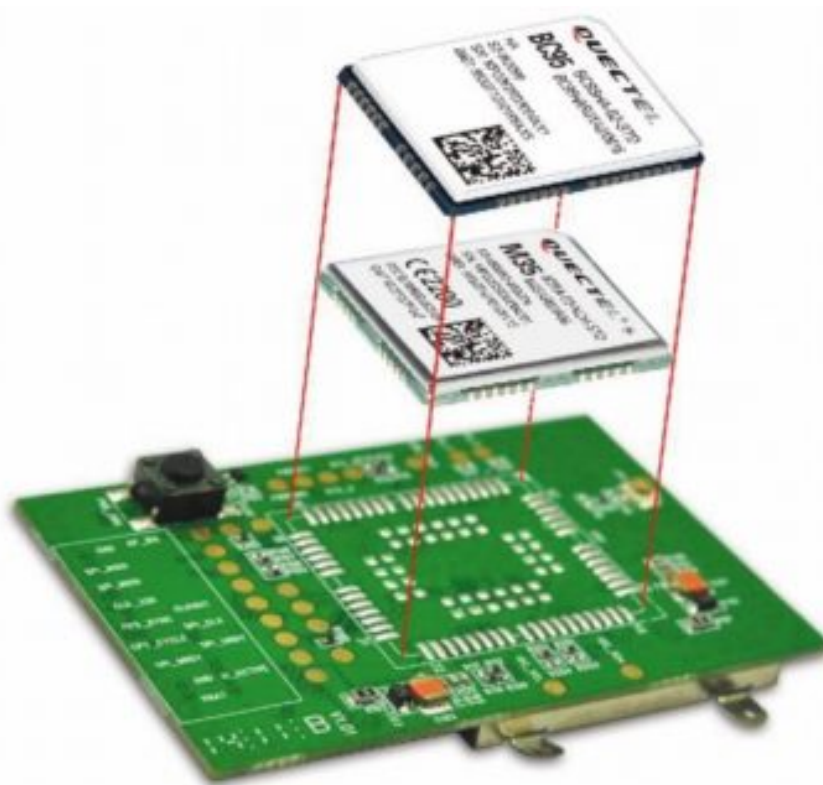


Рисунок 3.7 — Модуль BC95 конструктивно сумісний з GSM/GPRS-модулями M95/M35

Слід звернути увагу на підтримку модулем BC95 роботи з eSIM. Термін Machine-to-Machine UICC (eSIM), відомий також, як M2M Form Factor (MFF), визначає абонентський ідентифікатор для простих мобільних пристроїв M2M,

що працюють на невеликих швидкостях з малими обсягами даних. Ці ідентифікатори мобільного пристрою встановлюються на підприємстві-виробнику без можливості вилучення та заміни (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 — У модулі BC95 підтримується робота з eSIM

Одна з основних функцій eSIM дозволяє здійснювати дистанційне конфігурування мережі Remote Provisioning function. На карті eSIM записані кілька профілів різних мереж. Мобільний пристрій можна конфігурувати віддалено для підключення до потрібної мережевої структури. При цьому інші профілі не використовуються. Перемикання між різними мережами реалізується за допомогою зовнішнього керуючого модуля Subscription Manager.

У стандартних SIM-картах для ідентифікації абонента використовується унікальний код ідентифікації ICCID. У картах eUICC використовується ключ eUICCID, що дозволяє вибрати профіль конкретної мережі для Вашого мобільного пристрою. У стандарті GSMA визначаються два типи профілів. Один - Provisioning Profile — завантажується на підприємстві-виробнику і служить тільки для завантаження параметрів використовуваних мереж. Інший -

Operational Profile — дозволяє підключитися до конкретної мережі NB-IoT або до інтернет-шлюзу.

Ще одна особливість модуля BC95 пов'язана з Embedded Internet. Доцільно нагадати, що протоколи, які відповідають за вибір маршруту, встановлення з'єднання і забезпечення цілісності даних, такі, наприклад, як стек протоколів TCP/IP, можуть бути реалізовані апаратно або на програмному рівні. Досить складний програмний метод створення стека протоколів вимагає використання розвиненої операційної системи, що працює під управлінням центрального керуючого процесора, а також великих обсягів пам'яті. Значно простіше і набагато дешевше реалізувати частину інтернет-протоколів на апаратному рівні. Цей спосіб отримав назву Embedded Internet. Для пристроїв NB-IoT не потрібна реалізація всього стека протоколів TCP/IP, що забезпечує повну функціональність сучасних високошвидкісних мультимедійних додатків.

Модуль BC95-G оснащений двома портами UART. Обмін даними здійснюється за допомогою основного порту.

Відповідно до стандарту Rel. 13 на DCE-DTE (Data Terminal Equipment) Main UART має наступні комунікаційні лінії (рівні 3 В):

TXD: Send data;

RXD: Receive data;

RI: Ring indicator.

Основний порт може використовуватися для передачі команд ATі передачі даних. У цьому випадку швидкість передачі становить 9600 біт/с. Крім того, за допомогою основного UART можна оновлювати прошивку зі швидкістю 115200 біт. Цей основний порт доступний в активному режимі, режимі очікування і PSM. Сигнал Ring in dicator потрібен для отримання SMS або передачі даних.

Другий порт UART Debug, призначений для налагодження ПЗ, має дві лінії:

— DBG\_TXD: Send data to the COM port of DTE;

— DBG\_RXD: Receive data from the COM port of DTE.



Цей простий і зручний інтерфейс, що дозволяє отримувати інформацію через дві інформаційні лінії, підтримує швидкість 921600 біт/с і використовується для налагодження прошивки за допомогою спеціального програмного забезпечення UEMonitor, розробленого Quectel [30].

Це ПЗ використовує файл message.xml, який використовується для декодування і форматування налагоджувальних повідомлень, що надходять від пристроїв UE Quectel. Зміст файлів message.xml залежить від типу пристрою. Наприклад, якщо потрібно переглянути журнал модуля BC95-G, то необхідно використовувати саме файл message-BC95-G.xml. Робота з UE Monitor набагато простіше в порівнянні з добре відомою програмою Neul UE Log Viewer. Разом з тим, UE Monitor дозволяє в повному обсязі працювати з налагоджувальними повідомленнями NB-IoT модулів Quectel. Головне вікно програми показано на рисунку 3.9.

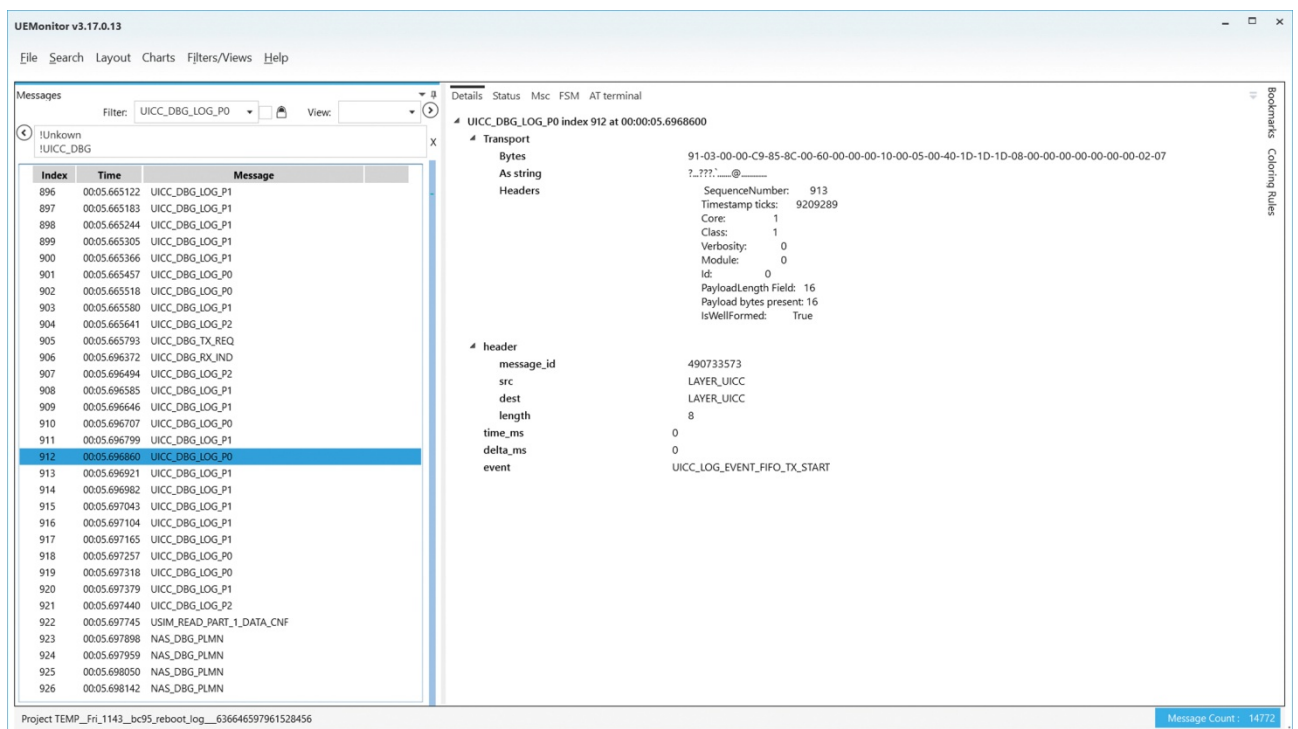


Рисунок 3.9 — Головне вікно програми UEMonitor Quectel

Для того щоб завантажити файл з QCOM або UE Log Viewer, досить виконати три прості дії: Click File → New Project → From log file. В іншому

варіанті потрібно вибрати оцінний порт і правильний декодер. Детально робота з цим ПЗ описана в документі «BC95-G & BC68 UE Monitor User Guide».

Для налагодження модулів рекомендується використовувати комплект GSM/NB-IoT EVB Kit (рисунок 3.10).

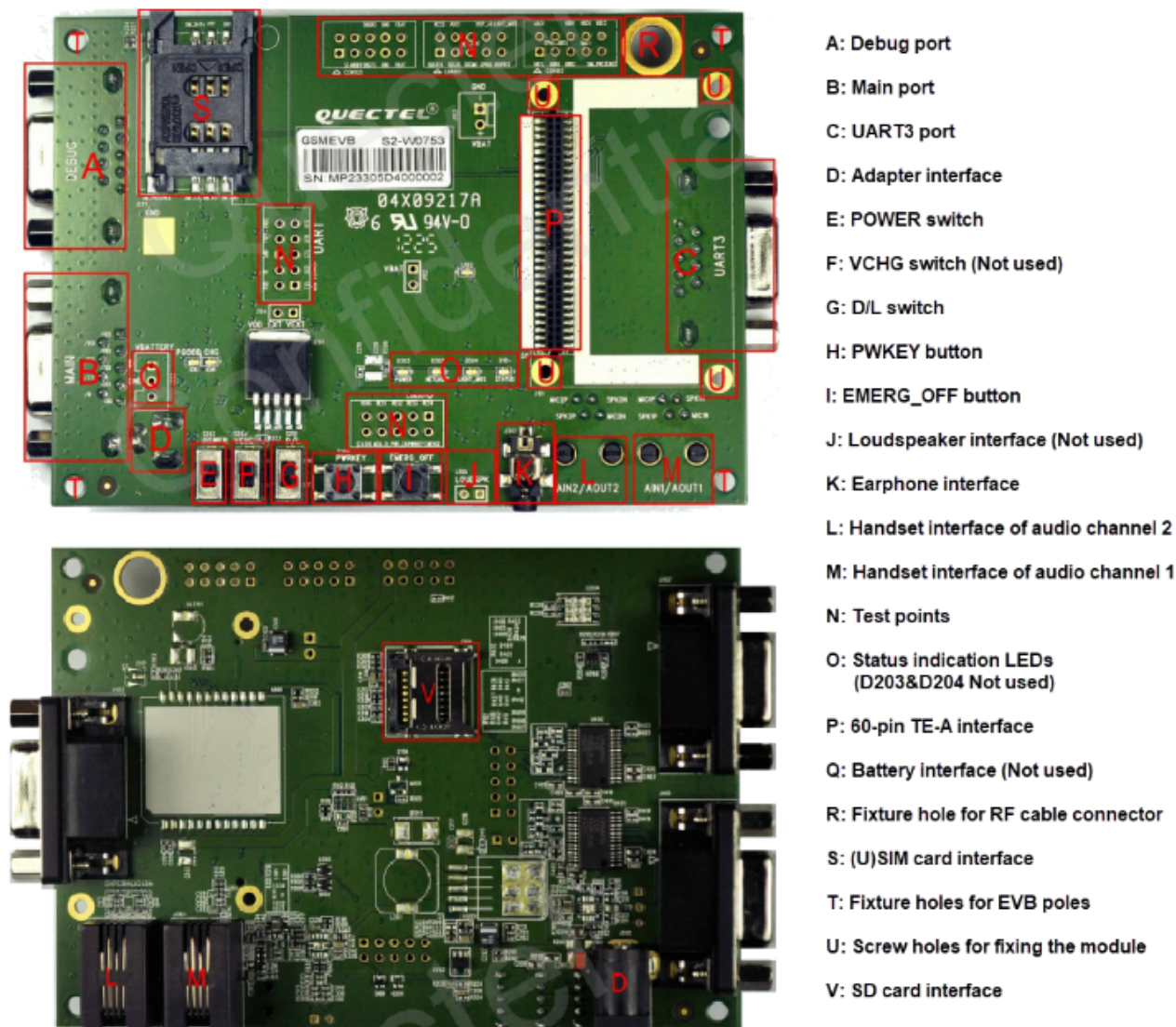


Рисунок 3.10 — Комплект GSM/NB-IoT EVB Kit

Модуль BC9-G, також, як і інші модулі NB-IoT, має інтерфейс USIM, відповідний специфікації 3GPP, який дозволяє отримувати доступ до зовнішньої USIM-карті. Інтерфейс карти USIM підтримує стандарти USIM-1.8V і USIM-3.0V.

Модуль BC95-G оснащений 10-розрядним АЦП, який призначений для зчитування показань різних датчиків з вихідним аналоговим сигналом. Цей інтерфейс доступний як в активному режимі, так і в режимі очікування.

Для зовнішнього перезапуску модуля є спеціальний вивід (pin 15), на який подається негативний імпульс тривалістю 100 мс. Аналогічним чином можна віддалено подавати і знімати зовнішнє живлення модуля. Крім того, є можливість перезавантажити модуль за допомогою AT-команди: AT + NRB.

Спеціальний вивід NETLIGHT призначений для світлодіодної сигналізації стану модуля. Світлодіод загоряється при реєстрації модуля в мережі.

Модулі BC95-G виконані в стандартному конструктиві LCC, що дозволяє переходити від існуючих стандартних GSM/GPRS модулів M95 до мобільних пристроїв з підтримкою NB-IoT. Функціональне призначення, рівні сигналів і розташування основних контактних майданчиків на корпусах модулів M95 і BC95-G збігаються.

### 3.6.2 Модуль BC66

Варто видзначити також модуль BC66 — мініатюрний NB- IoT модуль з мінімальним споживанням Модуль BC66 (функціональна діаграма якого представлена на рисунку 3.11) розроблений на базі чіпа M2625, виробництва MediaTek Inc, призначеного спеціально для стандарту NB-IoT. Цей чіп забезпечує низьке енергоспоживання і економічне рішення для широкого спектра мережевих пристроїв, що працюють в діапазоні 450 МГц ... 2,1 ГГц. Чіп MT2625 містить на одному кристалі: цифровий сигнальний процесор стандарту NB-IoT, радіочастотної блок обробки аналогового сигналу, мікроконтролер ARM Cortex-M, псевдостатіческое ОЗУ з довільним доступом (PSRAM), флеш-пам'ять і блок управління живленням. Слід зазначити, що MT2625 задовольняє вимогами специфікації 3GPP R14.

Завдяки використанню чіпа з високим ступенем інтеграції компонентів, в модулі BC66 вдалося отримати мінімальне енергоспоживання - 3,5 мкА в

режимі PSM і 0,29 мА в режимі IdleModeeDRX. Цей чіп має найменші розміри і вага в серії NB-IoT:  $17,7 \times 15,8 \times 2,3$  мм.

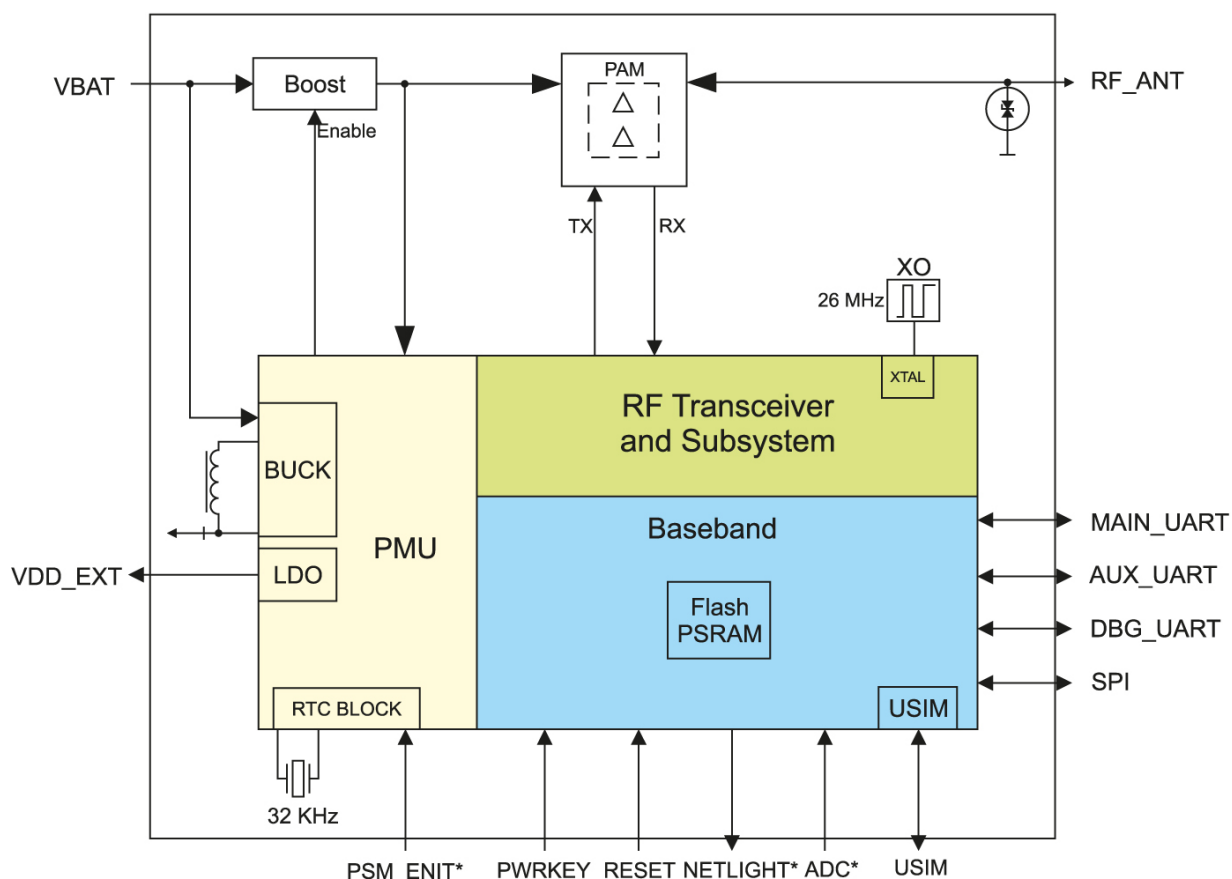


Рисунок 3.11 — Функціональна діаграма модуля BC66

Модуль BC66 підтримує п'ятнадцять частотних діапазонів. Швидкість передачі модуля BC66 трохи вище, ніж у BC95-G і BC68: DL - 25,5 кбіт/с; UL - 62,5 кбіт/с (Multi Tone).

Важливе значення має той факт, що модулі BC66 працюють на пристроях, що пересуваються з високими швидкостями: до 120 км/год. Це властивість, детально описане в Rel. 14, дозволяє використовувати модуль BC66 на транспортних засобах і в високошвидкісних автоматизованих промислових лініях.

Модуль BC66 підтримує найбільше число інтернет-протоколів з усієї лінійки модулів NB-IoT, виробленої в даний час фірмою Quectel: UDP/TCP/CoAP/LWM2M/MQTT/DTLS/SNTP/HTTP (S)/SSL/PPP/FTP. У

повному обсязі ці протоколи підтримуються в останній версії модуля BC66NB-04-STD.

Слід звернути увагу на діапазон напруг живлення: 2,1-3,7 В. Розширений діапазон дозволяє підключити модуль безпосередньо до літій-іонних типів батарей, виключити зі схеми LDO або DC/DC і збільшити термін автономної роботи пристрою без заміни джерела живлення.

У модулі BC66 підтримуються наступні інтерфейси:

- USIM;
- 3 × UART (Main\_UART, AUX\_UART, DBG\_UART);
- SPI;
- PSM\_EINT; ADC (10 bits);
- RESET;
- PWRKEY;
- NETLIGHT;
- Antenna Pad;
- I 2 C 1 (використовується для Open CPU);
- I 2 S 1 (використовується для Open CPU);
- GPIO Configurable (використовується для Open CPU);
- Network Status Indication.

Інтерфейс PSM\_EINT призначений для виведення модуля BC66 режими економії енергії через зовнішнє переривання.

Модуль BC66 має три порти UART. Головний інтерфейс Main UART використовується для роботи з AT-командами і передачі даних. Він також може бути задіяний для оновлення програмного забезпечення. Максимальна швидкість передачі для Main UART становить 115200 біт/с.

Порт Main UART має дві лінії:

- TXD: Send data to RXD of DTE;
- RXD: Receive data from TXD of DTE.

Другий Debug UART Port, призначений для налагодження програмного забезпечення, підтримує два сигнали:

- TXD\_DBG: Send data to RXD of DTE;
- RXD\_DBG: Receive data from TXD of DT.

Додатковий порт Auxiliary UART Port може бути задіяний в деяких ситуаціях для дублювання роботи головного порту з AT-командами і передачею спеціальних повідомлень:

- TXD\_AUX: Send data to the RXD of DTE;
- RXD\_AUX: Receive data from the TXD of DTE.

Всі сигнальні лінії послідовних портів виведені на окремі контактні площадки. Крім того, на контактну площадку pin 20 виведений сигнал Ringing Signal - RI, відповідний передачі SMS або URC.

Модуль BC66 оснащений інтерфейсом SPI, що підтримує режим Master. Цей інтерфейс має чотири сигнальні лінії з рівнями напруги 1,8:

- SPI\_MISO - Вхід Master і вихід slave інтерфейсу SPI;
- SPI\_MOSI - Вихід Master і вхід slave інтерфейсу SPI;
- SPI\_SCLK - Тактовий сигнал інтерфейсу SPI;
- SPI\_CS - Вибір чіпа інтерфейсу SPI.

Функція PWRKEY дозволяє віддалено включати і вимикати модуль за допомогою імпульсу негативної полярності тривалістю 500 мс.

Модуль BC66 підтримує програмне забезпечення Open CPU, яке дозволяє вбудовувати в базову прошивку модуля програми користувача і нові розширені AT-команди. В останній версії модуля BC66 розробникам надається можливість роботи з інтерфейсами прикладного програмування Open CPU APIs. Прикладні програми користувача можуть бути написані на мовах високого рівня з використанням модуля API Open CPU. Інтерфейси I 2 C, I 2 S, SPI, а також GPIO доступні тільки з програми користувача Open CPU.

Параметри інших інтерфейсів однакові у всіх модулях Quectel NB-IoT.

Модуль BC66 також підтримує NITZ — Network Identity і Time Zone. Ця функція дозволяє отримувати по бездротовій мережі значення локального часу, дати, часового поясу, а також інформацію про ідентифікатор мережевого

провайдера. Модуль BC66 сумісний з контактних площадок з GSM/GPRS-модулем M66.

Модулі BC66 можуть працювати в середовищі Huawei Ocean Connect, розробленої для додатків IoT. Ця відкрита екосистема надає розробникам можливість створювати прикладні програми з використанням різних API.

Для передачі загальної NAS (Non Access Stratum) інформації, що відноситься до всіх пристроїв UE, а також спеціальної (dedicated NAS) інформації, яка призначена тільки певним UE, використовується протокол Radio Resource Control-RRC. Для пристроїв UE, які знаходяться в стані RRC\_IDLE (Idle mode), передається нотифікація про вхідні дзвінки. Модулі Quectel NB-IoT підтримують функцію індикації Release Assistance Indication - RAI. При передачі по висхідній лінії зв'язку в пакет сигнальної інформації інкапсулюється повідомлення RAI.

Це поле RAI дозволяє пристрою UE повідомляти керуючий сервер про те, чи очікуються подальші передачі даних по висхідній або низхідній лінії зв'язку, або не очікується.

Отримавши таке повідомлення, опорна мережа, відповідно до інформації RAI, може розірвати RRC-з'єднання для того, щоб дозволити модулю увійти в режим очікування (Idle mode).

Таким чином, функція RAI дозволяє скоротити період часу, протягом якого пристрій UE знаходиться в режимі DRX, чекаючи можливих додаткових передач.

У модулях BC66 функція Release Assistance Indication- RAI реалізується за допомогою команди + QNBIOTRAI, яка дозволяє перевести модуль в одне з наступних станів:

- функція RAI відключена/включена;
- модуль може передати тільки один пакет «вгору» і не очікує прийому пакетів «вниз»;
- модуль може передати тільки один пакет «вгору» і чекає прийом одного пакета «вниз».

Детально робота з RA1 описана в документі BC66 AT Commands Manual. На корпусі BC66 розташовані 44 LCC-контакту і 14 LGA-контактів. Модуль BC66 сумісний з контактних площадок з GSM/GPRS модулем M66.

Для налагодження і тестування модуля можна використовувати набір BC66-TE-V,, зовнішній вигляд якої показано на рисунку 3.12.

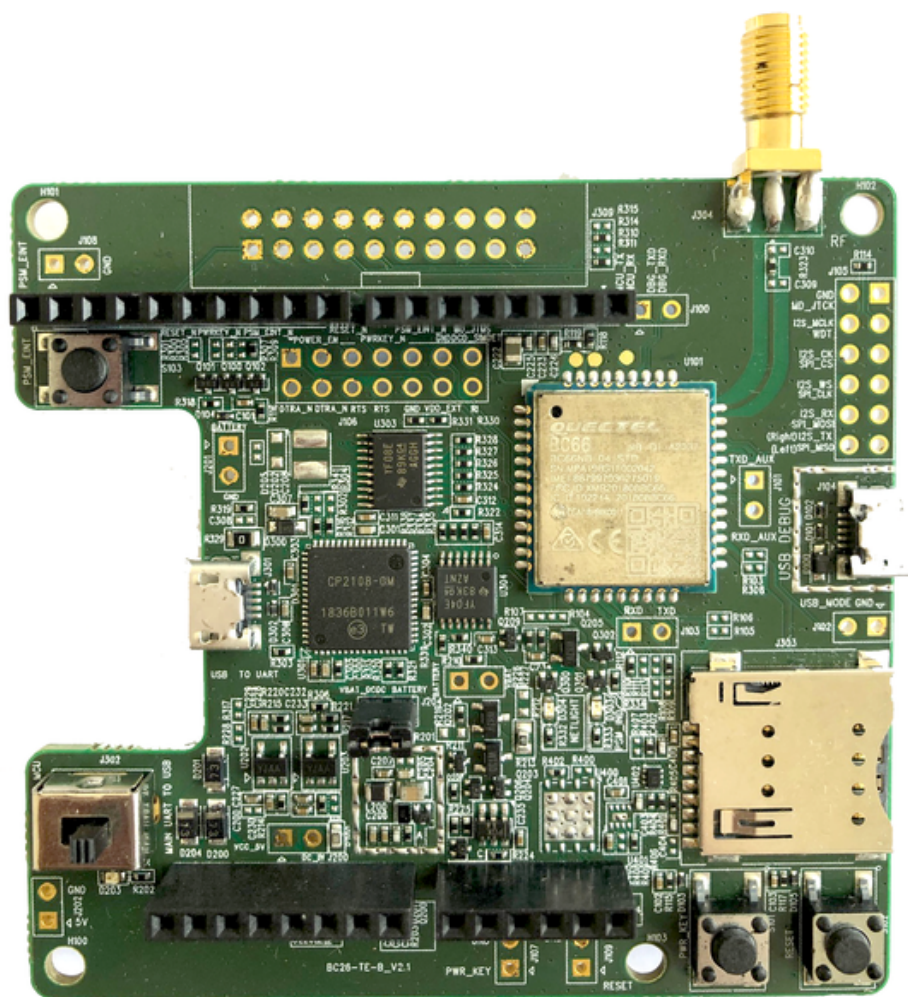


Рисунок 3.12 — Зовнішній вигляд відлагоджувальної плати BC66-TE-V

BC66-TE-V — це плата розробки NB-IoT рішень, виконана у вигляді плати розширення для Arduino, в розмірі  $70,0 \times 74,0 \times 1,6$  мм. BC66-TE-V може використовуватися як самостійно під управлінням ПК або з використанням OpenCPU, щоб розробляти і налагоджувати додатка, так і спільно з STM32 Nucleo-64.



Модулі BC68 сумісні «pin-to-pin» з GSM/GPRS модулями M66, а також з NB-IoT модулями BC66, завдяки збігу контактних по розташуванню.

У Китаї новим мережам з підтримкою мобільних пристроїв стандарту Rel. 13 приділяється велика увага. Провідний оператор стільникового зв'язку China Unicom за підтримки держави розгортає в Шанхаї мережі NB-IoT. На початку травня 2016 р China Unicom підписав з адміністрацією Шанхая договір під назвою Internet +, відповідно до якого будуть розгорнуті великомасштабні роботи по впровадженню мереж NB-IoT в різні міські структури, такі, наприклад, як вуличне освітлення, контроль витрати води і електрики, інформаційні табло на зупинках міського транспорту, паркування, бібліотеки, медичні служби та багато іншого.

На конгресі в Шанхаї (MWC Shanghai) було продемонстровано обладнання для автомобільних парковок, в якому використовуються мобільні пристрої з підтримкою NB-IoT, розроблені на основі рішень Huawei. Цей комплект обладнання, що включає триста інтелектуальних датчиків на базі NB-IoT, термінали, базову станцію і програмне забезпечення, дозволяє за допомогою мобільного телефону знайти вільне місце на стоянці, шлях до цього місця і здійснити оплату [19]. Нова система набагато дешевше і ефективніше в порівнянні з чинним стандартним паркувальним обладнанням.

Як наголошується в прес-релізах Ericsson, результати продемонстрованих тестових випробувань дозволили укласти довгострокові контракти між Ericsson і China Unicom про спільну розробку архітектури IoT для китайського комплексного вирішення мобільної мережі IoT з використанням діапазонів 900 і 1800 МГц..

У середині липня 2016 р оператор Vodafone отримав від асоціації GSMA повідомлення про присвоєння статусу Narrow Band IoT Forum Project Member. Таким чином, можна очікувати в найближчому майбутньому активний розвиток і провадження мереж NB-IoT також і в Україні [20].

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу наукової розробки.

Проведення технологічного аудиту здійснюється за допомогою експертного методу. Для цього залучено 2-х незалежних експертів.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки здійснюється за 12-ю критеріями, наведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
1	2	3	4	5	6
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведемо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 — Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти	
	1.	2
	Бали, виставлені експертами:	
1	4	4
2	2	4
3	3	2
4	4	4
5	4	4
6	3	2

7	3	4
8	4	3
9	2	2
10	4	3
11	3	4
12	2	1
Сума балів	СБ1 = 38	СБ2 = 37
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{38+37}{2} = 37,5$	

Таблиця 4.3 — Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 — 10	Низький
11 — 20	Нижче середнього
21 — 30	Середній
31 — 40	Вище середнього
41 — 48	Високий

Згідно результатів оцінювання комерційного потенціалу розробки, що наведено в таблиці 4.2, середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів складає 37,5. Використовуючи дані таблиці 4.3 можна зробити висновок, що рівень потенціалу розробки — вище середнього.

#### 4.2 Прогнозування витрат на виконання роботи

Прогнозування витрат на розробку інформаційної технології аналізу та передбачення опадів, передбачає: розрахунок витрат, які безпосередньо

стосуються виконавців даної роботи; розрахунок загальних витрат на виконання роботи та прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів даної роботи.

Розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу роботи, можна здійснити за такими статтями та формулами:

1. Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників)  $Z_o$ , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \text{ грн} \quad (4.1)$$

де  $M$  — місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн. У 2020 році величини окладів (разом з встановленими доплатами і надбавками) рекомендується брати в межах (5000...20000) грн. за місяць;

$T_p$  — число робочих днів в місяці, прийmemo  $T_p = 22$  дні;

$t$  — число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Згідно формули 4.1 розрахуємо основну заробітну плату для кожного з розробників. Результати розрахунку внесемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 — Результати розрахунку витрат на виконання даної роботи

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.
1. Інженер-дослідник	15000	681,82	11	7520,02
2. Інженер програміст	9500	431,80	5	2299,98
Всього				$Z_o = 9820$

2. Додаткова заробітна плата  $Z_d$  всіх розробників розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників, тобто:

$$Z_d = (0,1 \dots 0,12) \cdot (Z_o + Z_p), \text{ грн} \quad (4.4)$$

$$Z_d = 0,1 \cdot (9820) = 982 \text{ (грн)}$$

3. Нарахування на заробітну плату  $H_{зп}$  розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$H_{зп} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн} \quad (4.5)$$

де  $Z_o$  — основна заробітна плата розробників, грн;

$Z_d$  — додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн;

$\beta$  — ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %. Ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування для бюджетних організацій у 2020 році встановлена у розмірі 22%.

$$H_{зп} = (9820 + 982) \cdot \frac{22}{100} = 2371,6 \text{ (грн)}$$

4. Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень  $A$ , які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи. Результати розрахунків внесемо у таблицю 4.7

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування  $A$  розраховуються за формулою:

$$A = \frac{Ц*На}{100} \cdot \frac{T}{12}, \text{ грн} \quad (4.6)$$

де Ц — загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн;

$N_a$  — річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що  $N_a = (10...25)\%$ ;

T — термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Таблиця 4.7 — Результати розрахунків амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання, приміщень тощо	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
1.Ноутбук Aser	15000	20	1,5	375
2.Приміщення лабораторії	110000	20	3	5500
3. Модуль BC95 NB-IoT Quectel.	400	10	3	10
4. GSM/GPRS-модуль M95	300	10	3	5
5. Електронні компоненти	200	10	3	7,5
Всього				A = 5897,5

5. Витрати на послуги, що були використані під час виконання наукової розробки.

Таблиця 4.8 - Послуги, що використовуються при виготовленні програми

Найменування послуг	Термін використання, місяців	Ціна за місяць, грн.	Сума, грн.
1. Послуга, доступ до	3	100	300



мережі Internet шт.			
Всього	300 грн.		

6. Таблиця 4.8 - Витрати на комплектуючі, що були використані для розробки.

Найменування матеріалу	Одиниці виміру	Ціна, грн.	Витрачено	Вартість витрачених матеріалів, грн.
Диск	шт.	10	1	10
Блокнот	шт.	35	1	35
Ручка	шт.	20	1	20
Папір	уп.	185	1	180
Всього з урахуванням транспортних витрат:				245

7. Витрати на силову електроенергію  $V_e$  розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\text{п}}, \text{ грн} \quad (4.9)$$

де  $V$  — вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2020р.  $V \approx 3,5$  грн./кВт;

$P$  — установлена потужність обладнання, кВт;  $P = 1,5$  кВт;

$\Phi$  — фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийmemo, що  $\Phi = 180$  годин;

$K_{\text{п}}$  — коефіцієнт використання потужності,  $K_{\text{п}} < 1$ , прийmemo  $K_{\text{п}} = 0,9$ ;

Тоді витрати на електроенергію складуть:

$$V_e = 3,5 \cdot 1,5 \cdot 180 \cdot 0,9 = 850,5 \text{ (грн)}$$

8. Інші витрати  $V_{ін}$  можна прийняти як  $(100...300)\%$  від суми основної заробітної плати фахівців, які виконували дану роботу, тобто:

$$V_{ін} = (0,1..3) \cdot (Z_0), \text{ грн} \quad (4.10)$$

$$V_{ін} = 1,5 \cdot (9820) = 14730 \text{ (грн)}$$

9. Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини етапу роботи —  $V$ .

$$\begin{aligned} V &= 9820 + 982 + 2371,6 + 5897,5 + 300 + 245 + 850,5 + 14730 = \\ &= 39711,6 \text{ (грн)} \end{aligned}$$

Розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи. Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за формулою:

$$V_{заг} = \frac{V}{\alpha}, \text{ грн} \quad (4.11)$$

де  $\alpha$  — частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях. Для нашого випадку приймемо, що  $\alpha = 0,5$ .

Тоді:

$$V_{заг} = \frac{39711,6}{0,5} = 79432,2 \text{ (грн)}$$

Прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи виконується за формулою:

$$ЗВ = \frac{V_{заг}}{\beta}, \quad (4.12)$$

де  $\beta$  — коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи. Якщо розробка знаходиться:

- на стадії науково-дослідних робіт, то  $\beta \approx 0,1$ ;
- на стадії технічного проектування, то  $\beta \approx 0,2$ ;
- на стадії розробки конструкторської документації, то  $\beta \approx 0,3$ ;
- на стадії розробки технологій, то  $\beta \approx 0,4$ ;
- на стадії розробки дослідного зразка, то  $\beta \approx 0,5$ ;
- на стадії розробки промислового зразка,  $\beta \approx 0,7$ ;
- на стадії впровадження, то  $\beta \approx 0,9$ .

$$ЗВ = \frac{79432,2}{0,5} = 158864,4 \text{ (грн)}$$

Тобто прогнозовані витрати на виконання та можливе впровадження результатів даної роботи можуть скласти приблизно 159 тис. грн.

#### 4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

У даному підрозділі необхідно кількісно спрогнозувати, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи.

При цьому потрібно виходити з того, що в умовах ринку узагальнюючим позитивним результатом, що його отримує підприємство від впровадження результатів розробки, є збільшення чистого прибутку підприємства.

Саме зростання чистого прибутку забезпечить підприємству надходження додаткових коштів, які дозволять покращити фінансові результати діяльності.

Зростання чистого прибутку ми можемо оцінити у теперішній вартості грошей.

Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства  $\Delta\Pi_i$  для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N) \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right), \quad (4.13)$$

де  $\Delta C_0$  — покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

$N$  — основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки.

$\Delta N$  — покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$C_0$  — основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

$n$  — кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

$\lambda$  — коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2020 році ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ .

$\rho$  — коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати  $\rho = 0,2 \dots 0,3$ ;

$v$  — ставка податку на прибуток. У 2020 році  $v = 18\%$ .

Припустимо, що в результаті впровадження результатів наукової розробки покращується якість певного продукту, що дозволяє підвищити ціну його реалізації на 10 тис. грн. Кількість користувачів також збільшиться: протягом першого року — на 10, протягом другого року — ще на 40, протягом третього року — ще на 50.

Орієнтовно: реалізація продукції до впровадження результатів наукової розробки складала 500 користувачів, а її ціна — 50 тис. грн.

Потрібно спрогнозувати збільшення чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового.

Припустимо, що наша розробка буде користуватися підвищеним попитом на ринку протягом 3-років після впровадження.

Збільшення чистого прибутку підприємства  $\Delta\Pi_i$  протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1 = (10000 \cdot 500 + 60000 \cdot 10) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 765303 \text{ грн}$$

Збільшення чистого прибутку  $\Delta\Pi_2$  від можливої реалізації даної розробки протягом другого року складе:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= (10000 \cdot 500 + 60000 \cdot (10 + 40)) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = \\ &= 1093289 \text{ грн} \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку  $\Delta\Pi_3$  від можливої реалізації даної розробки протягом третього року складе:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= (10000 \cdot 500 + 60000 \cdot (10 + 40 + 50)) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = \\ &= 1503273 \text{ грн} \end{aligned}$$

#### 4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

Розрахований у п. 4.3 комерційний ефект від можливого впровадження розробок ще не означає, що ця розробка реально буде впроваджена. Якщо збільшення прогнозованого прибутку від впровадження результатів наукової

розробки є вигідним для підприємства, то це ще не означає, що інвестор погодиться фінансувати дану розробку. Інвестор погодиться вкладати кошти у реалізацію даної наукової розробки тільки за певних умов.

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахунок ефективності вкладених інвестицій передбачає проведення таких робіт:

1-й крок. Розраховуємо теперішню вартість інвестицій  $PV$ , що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю ми можемо вважати прогнозовану величину загальних витрат  $ЗВ$  на виконання та впровадження результатів НДДКР, розраховану нами раніше за формулою (4.12), тобто будемо вважати, що  $ЗВ = PV = 381650$ .грн.

2-й крок. Розраховуємо очікуване збільшення прибутку  $\Delta\Pi_i$ , що його отримає підприємство від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження. Таке збільшення прибутку також було розраховане нами раніше за формулою (4.13).

3-й крок. Для спрощення подальших розрахунків будують вісь часу, на яку наносять всі платежі (інвестиції та прибутки), що мають місце під час виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів. Характеристику руху платежів (інвестицій та додаткових прибутків) наведено на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 - Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

4-й крок. Розраховуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій  $E_{\text{абс}}$ . Для цього використаємо формулу:

$$E_{\text{абс}} = (\text{ПП} - \text{PV}), \quad (4.14)$$

де ПП — приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

PV — теперішня вартість інвестицій  $PV = \text{ЗВ}$ , грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$\text{ПП} = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.15)$$

де  $\Delta\Pi_i$  — збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

t — період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

$\tau$  — ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t — період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

Якщо  $E_{\text{абс}} < 0$ , то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження буде збитковим і вкладати кошти в проведення цих досліджень ніхто не буде.

Якщо  $E_{\text{абс}} > 0$ , то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту.

$$ПП = \frac{765303}{(1 + 0,1)^2} + \frac{1093289}{(1 + 0,1)^3} + \frac{1503273}{(1 + 0,1)^4} = 2480642 \text{ грн}$$

Тоді, абсолютна ефективність вкладених інвестицій складе:

$$E_{\text{абс}} = 2480642 - 158864,4 = 2321777,6 \text{ грн}$$

Оскільки  $E_{\text{абс}} > 0$ , то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

5-й крок. Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_{\text{в}}$ . Для цього використаємо формулу:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[T_{\text{ж}}]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1, \quad (4.16)$$

де  $E_{\text{абс}}$  — абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

$PV$  — теперішня вартість інвестицій  $PV = 3B$ , грн;

$T_{\text{ж}}$  — життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_{\text{в}} = \sqrt[4]{1 + \frac{2321777,6}{158864,4}} - 1 = 0,94 \approx 94\%$$

Далі, розрахована величина  $E_{\text{в}}$  порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування  $\tau_{\text{мін}}$ , яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування  $\tau_{\text{мін}}$  визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.17)$$

де  $d$  — середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2020 році в Україні  $d = (0,14...0,2)$ ;



$f$  — показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f = (0,05...0,1)$ , але може бути і значно більше.

Якщо величина  $E_B > \tau_{\text{мін}}$ , то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. В іншому випадку фінансування наукової розробки здійснюватися не буде.

$$\tau_{\text{мін}} = 0,2 + 0,1 = 0,3$$

$$\tau_{\text{мін}} = 30\%$$

Оскільки  $E_B = 59\% > \tau_{\text{мін}} = 30\%$ , то потенційний інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

6-й крок. Розраховуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій  $T_{\text{ок}}$  можна розрахувати за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_B}, \quad (4.18)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,94} = 1,07 \text{ років}$$

Оскільки  $T_{\text{ок}} < 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі запропоновано варіанти реалізації ІОТ операторів мобільного зв'язку. Було визначено, що найперспективнішим напрямком розвитку «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT) є побудова комбінованих мереж IoT, які об'єднують персональні, локальні і глобальні мережі. Дуже корисним є напрямок, що дозволяє використовувати існуючі мережі 3G/4G для обслуговування численних пристроїв IoT.

Визначено, що найкращим варіантом є технологія NB-IoT, яка наявна лише в оператора мобільного зв'язку Vodafone. Оптимальним варіантом реалізації IoT є застосування новітніх мікропроцесорних модулів BC95 та BC66, що є доступними на ринку і мають безкоштовне програмне забезпечення.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Електронний ресурс // [www.3gpp.org/DynaReport/36300-CRs.htm](http://www.3gpp.org/DynaReport/36300-CRs.htm)
2. Електронний ресурс // [www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1332811](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332811)
3. Електронний ресурс // [www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/CLP.28v1.0.pdf](http://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/CLP.28v1.0.pdf)
4. Електронний ресурс // [www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/145000\\_145099/145001/13.04.00\\_60/ts\\_145001v130400p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/145000_145099/145001/13.04.00_60/ts_145001v130400p.pdf)
5. Електронний ресурс // [www.ericsson.com/research-blog/robust-scrambling-nb-iot-broadcast-channels/](http://www.ericsson.com/research-blog/robust-scrambling-nb-iot-broadcast-channels/)
6. Електронний ресурс // [www.youtube.com/watch?v=ndgZuUtmkIU](http://www.youtube.com/watch?v=ndgZuUtmkIU)
7. Електронний ресурс // [www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36\\_series/36.888/36888-c00.zip](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.888/36888-c00.zip)
8. Електронний ресурс // [www.ieeeexplore.ieee.org/document/8120239/](http://www.ieeeexplore.ieee.org/document/8120239/)
9. Електронний ресурс // [www.qualcomm.com/media/documents/files/otdoa-positioning-in-3gpp-lte.pdf](http://www.qualcomm.com/media/documents/files/otdoa-positioning-in-3gpp-lte.pdf)
10. Електронний ресурс // [www.rohde-schwarz.com/us/news-press/press-room/press-releases-detailpages/rohde-schwarz-and-commsolid-present-world-s-first-test-solution-for-3gpp-release-14-location-services-for-nb-iot-press\\_releases\\_detailpage\\_229356-533952.html](http://www.rohde-schwarz.com/us/news-press/press-room/press-releases-detailpages/rohde-schwarz-and-commsolid-present-world-s-first-test-solution-for-3gpp-release-14-location-services-for-nb-iot-press_releases_detailpage_229356-533952.html)
11. Електронний ресурс // [www.niviuk.free.fr/ue\\_category.php](http://www.niviuk.free.fr/ue_category.php)
12. Електронний ресурс // [www.ericsson.com/research-blog/robust-scrambling-nb-iot-broadcast-channels/](http://www.ericsson.com/research-blog/robust-scrambling-nb-iot-broadcast-channels/)
13. Електронний ресурс // [www.resources.alcatel-lucent.com/asset/200178](http://www.resources.alcatel-lucent.com/asset/200178)
14. Електронний ресурс // [www.portal.3gpp.org/ngppapp/CreateTdoc.aspx?mode=view&contributionId=901950](http://www.portal.3gpp.org/ngppapp/CreateTdoc.aspx?mode=view&contributionId=901950) /ссылка утрачена/
15. Електронний ресурс // [www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/STD-T63v9\\_00/2\\_T63/ARIB-STD-T63/Rel8/36/A36306-870.pdf](http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/STD-T63v9_00/2_T63/ARIB-STD-T63/Rel8/36/A36306-870.pdf)

16. Электронный ресурс // [www.iotbusinessnews.com/2018/03/14/20954-nb-iot-ignites-the-race-to-a-billion-lpwa-connected-devices-by-2025/](http://www.iotbusinessnews.com/2018/03/14/20954-nb-iot-ignites-the-race-to-a-billion-lpwa-connected-devices-by-2025/)

17. Электронный ресурс // [www.sequans.com/press-release/sequans-introduces-new-nb-iot-platform-monarch-n/](http://www.sequans.com/press-release/sequans-introduces-new-nb-iot-platform-monarch-n/)

18. Электронный ресурс // [www.riotmicro.com/news/introducing-the-rm1000/](http://www.riotmicro.com/news/introducing-the-rm1000/)

19. Электронный ресурс // [www.qorvo.com/newsroom/news/2017/simcom-selects-qorvo-rf-solution-for-lte-nb-iot-module](http://www.qorvo.com/newsroom/news/2017/simcom-selects-qorvo-rf-solution-for-lte-nb-iot-module)

20. Электронный ресурс // [www.quectel.com](http://www.quectel.com)

21. Электронный ресурс // [www.satronel.ru/ru/product/Satron/BC95](http://www.satronel.ru/ru/product/Satron/BC95)

## ДОДАТОК А

Міністерство освіти та науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Інститут інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

д.т.н., професор Азаров О. Д.

(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Варіанти реалізації IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку

08—23.МКР.008.00.000.ТЗ

Науковий керівник: д.т.н., проф. Азаров О.Д.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

студент групи \_1КІ-19м\_

\_\_\_\_\_  
Мацедонський Є.В.

(підпис)

Вінниця 2020р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

- а) актуальність досліджень;
- б) наказ про затвердження теми дипломної роботи.

## 2. Мета і призначення МКР

а) Мета полягає у реалізації варіантів побудови IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку.

б) призначення розробки — виконання магістерської кваліфікаційної роботи, виконання організаційно — технологічних та наукових досліджень.

## 3. Вихідні дані для виконання МКР

- технічний опис існуючих архітектур Інтернету-речей;
- стандарти стільникового зв'язку;
- технології стільникового зв'язку;
- технічний опис мікропроцесорних засобів IoT.

## 4. Вимоги до виконання МКР

- провести аналіз концепції Інтернету-речей;
- провести огляд існуючих стандартів мобільного зв'язку;
- вивчити специфікації мобільного зв'язку 3GPP для IoT;
- вивчити технології мобільного зв'язку для IoT;
- запропонувати варіанти реалізації IoT на базі сучасних операторів мобільного зв'язку.

## 5. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Інтернет-речей. Основна концепція	01.09.20р.	04.10.20р.	Розділ 1
2	Стільниковий зв'язок, опис існуючих стандартів і їх перспективи розвитку	05.10.20р.	18.10.20р.	Розділ 2
3	Варіанти реалізації IoT на базі існуючих операторів мобільного зв'язку	19.10.20р.	01.11.20р.	Розділ 3
4	Економічна частина	02.11.20р.	15.11.20р.	Розділ 4

## 6. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, нормоконтроль про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

#### 7. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

#### 8. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВКАХ до дипломного проектування, ДСТУ\_ 3008-95, ДСТУ 3974-2000 «Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення» та діючого ГОСТ 2.114-95 ЕСКД.

9. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом Відсутні.

## ДОДАТОК Б

## Функціональна схема модуля

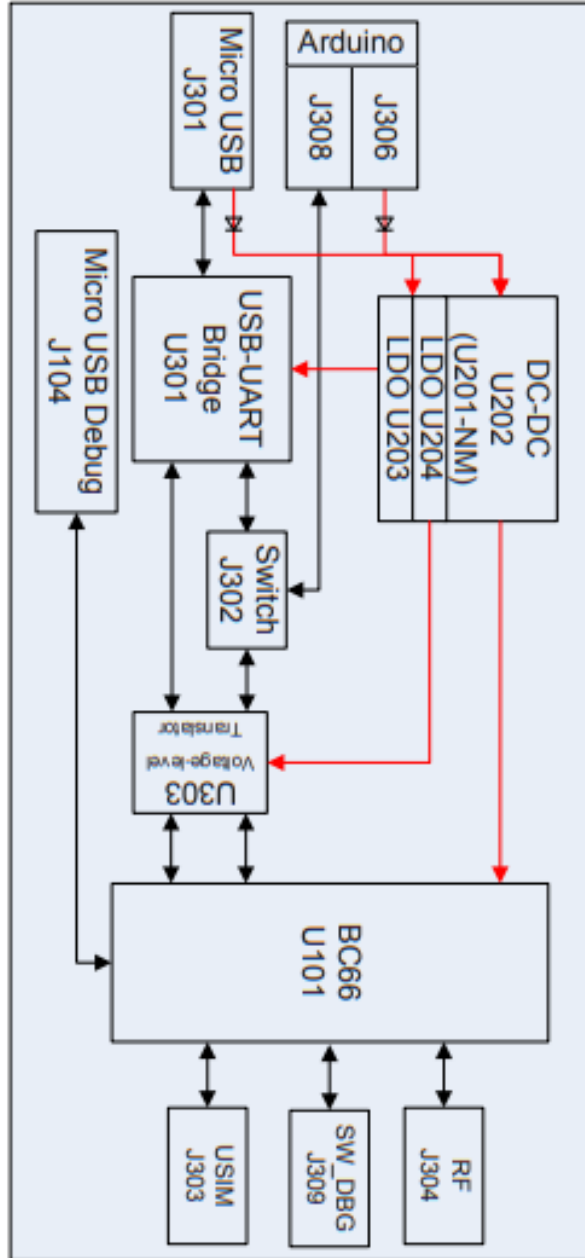


Рисунок Б1 — Функціональна схема модуля



## ДОДАТОК В

## Розміщення інтерфейсів модуля

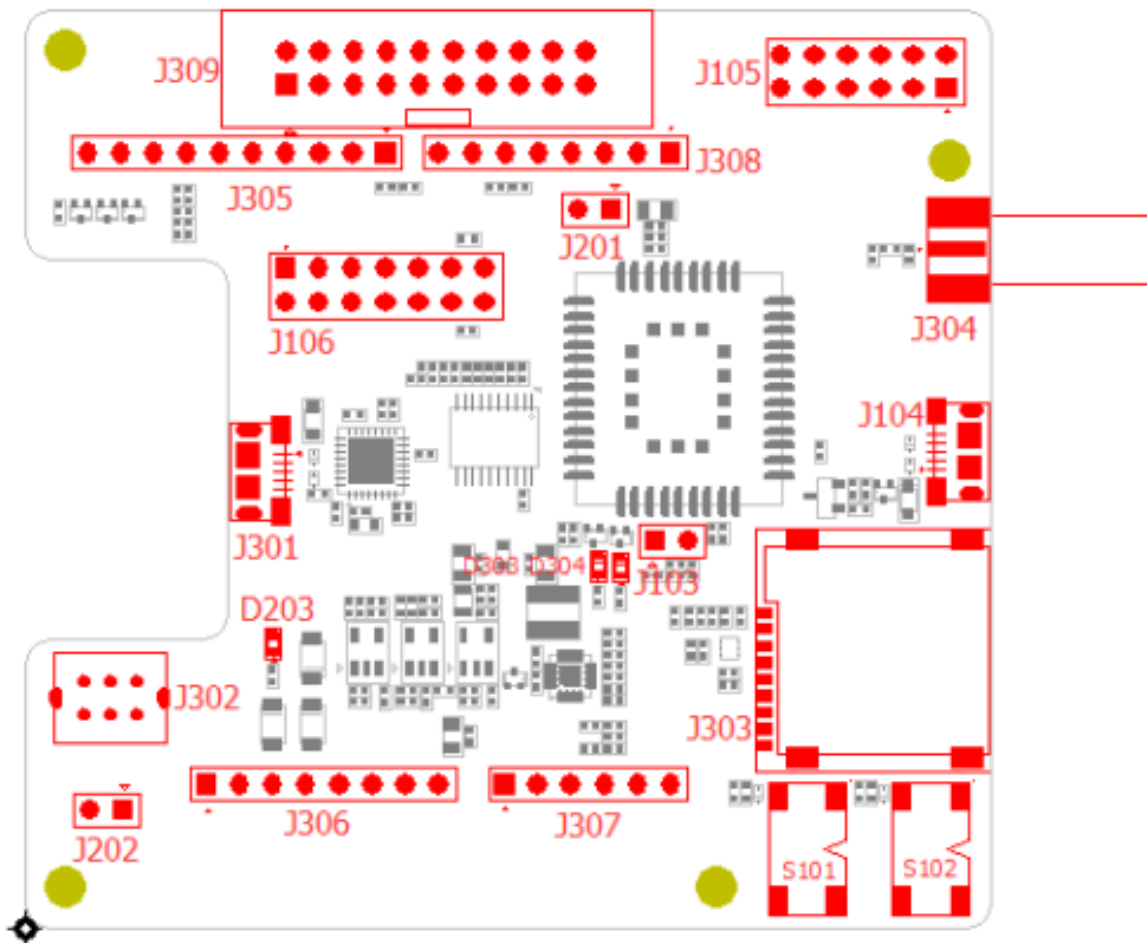


Рисунок В1 – Розміщення інтерфейсів модуля

## ДОДАТОК Г

Діаграма відповідності з'єднань

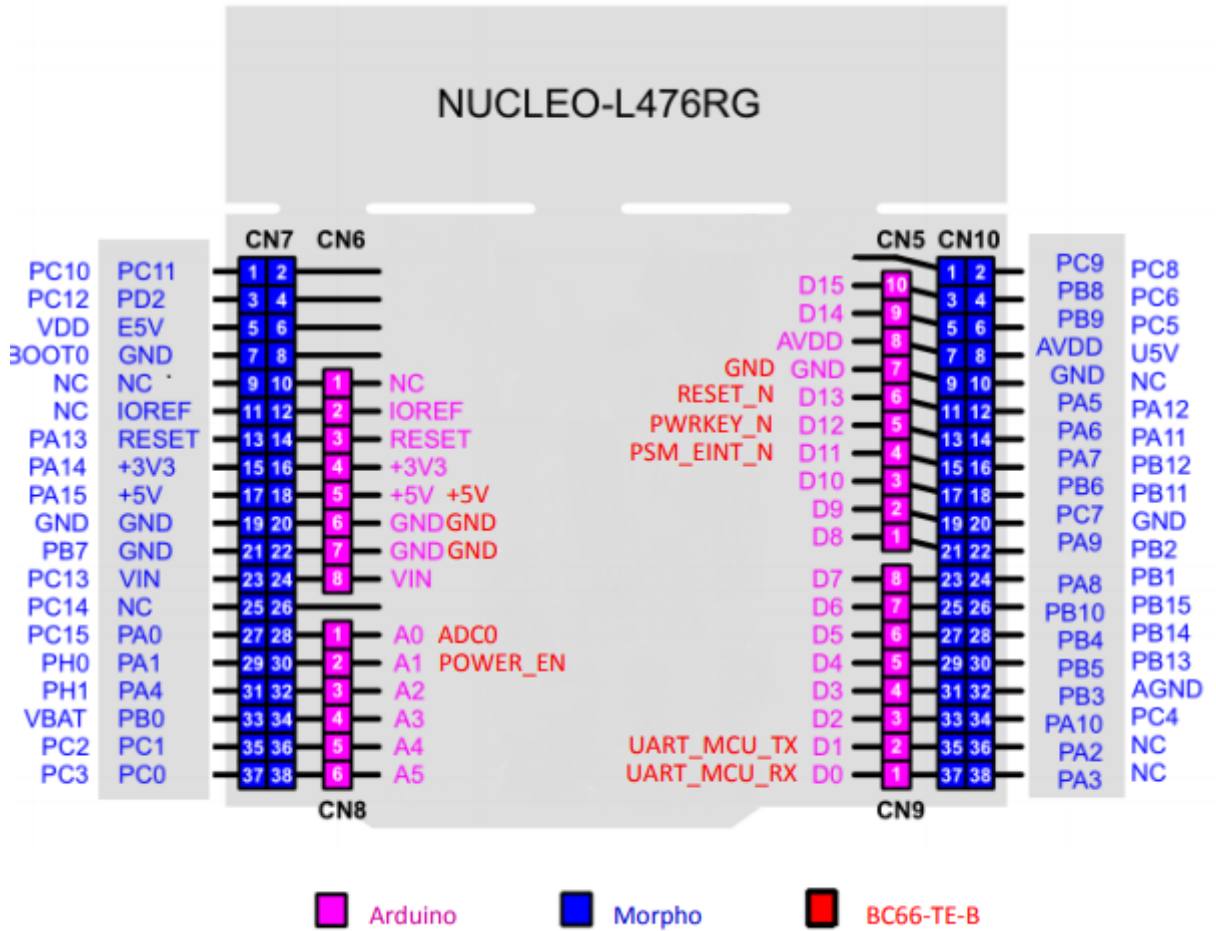


Рисунок Г1 – Розміщення інтерфейсів модуля

