

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра електроніки і комп'ютерних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускої кваліфікаційної роботи магістра на тему:
«Система мережевого доступу на базі технології 5G»

Завідувач кафедри:	А.С. Опанасюк
Керівник кваліфікаційної роботи:	О.В. Бережна
Консультант з техніко-економічної частини :	О.М. Маценко
Виконала студентка гр. ЕС.м-11 :	О.М. Гагіна

Суми
2022 р.

Сумський державний університет
Факультет ЕЛІТ
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки
Напрямок підготовки 6.171.00.10 «Електроніка»
ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕКТ Опанасюк А.С..

"___" _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

до випускної кваліфікаційної роботи магістра
студентці **Гагіній Оксані Миколаївні**

1. Тема проекту: **«Система мережевого доступу на базі технології 5G»**
"27" жовтня 2022 р. №096 - VI

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 15.12.2022

3. Вихідні дані до роботи Технологія передачі даних – 5G. Сфера застосування пристрою –інформаційні мережі. Завадостійкий код - циклічний. При розробленні застосувати елементи типу «Система на кристалі» (SoC).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- огляд літератури і постановка задачі проектування;
- науково-дослідна частина;
- розроблення, обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми;
- розробка принципової схеми та вибір елементної бази;
- техніко-економічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу:

- креслення схеми алгоритму;
- креслення схеми електричної структурної;
- креслення схеми електричної функціональної;
- креслення схеми електричної принципової.

Дата видачі завдання _____

Завдання прийняла до виконання Гагіна О.М

Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділ	Консультант	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічна частина	Маценко О. М.		

Дата видачі завдання _____

Керівник роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

" ___ " _____ 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Огляд літератури та постановка задачі проектування	10.10. 2022 р
Науково-дослідницька частина	20.10. 2022 р.
Розробка алгоритму функціонування	25.10. 2022 р.
Розробка та обґрунтування структурної схеми	30.10. 2022р.
Розробка та обґрунтування функціональної схеми	03.11. 2022р.
Розробка та розрахунок принципової схеми	05.11. 2022 р.
Техніко-економічна частина	15.11. 2022 р.
Розробка програмного забезпечення	25.11. 2022 р.
Оформлення пояснювальної записки	30.11.2022 р.
Оформлення графічного матеріалу	10.12. 2022 р.
Представлення роботи на рецензування	15.12. 2022р.

Студентка _____

Керівник роботи _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка випускної роботи містить: 94 аркуші, 17 джерел, 39 рисунків, 5 розділів.

Графічна частина роботи містить: схему алгоритму та схему електричну структурну системи мережевого доступу, схему електричну функціональну та принципову.

Пояснювальна записка містить п'ять розділів, вступ, висновки та список літератури

У першому розділі проведений огляд літератури по заданій темі, та розглянуті можливі варіанти створення подібних мережевих доступів систем.

Другий розділ присвячений дослідженню технологій в рамках Інтернету речей, які базуються на концепції міжмашинної взаємодії M2M.

У третьому розділі були розроблені алгоритм роботи системи мережевого доступу та його структурна схема. Описані основні етапи функціонування системи.

У четвертому розділі проводиться вибір елементної бази та вибір модуля на якому буде створюватись пристрій для системи мережевого доступу. Розроблено схему функціональну та електричну принципову.

У п'ятому розділі проведено розрахунок собівартості пристрою для системи та його ціна.

У висновку наведено короткі характеристики спроектованого пристрою.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	6
1.1 Технологія 5G: Що таке, як працює	6
1.2 Massiive MIMO	8
1.3 Гетерогенні мережі 5G	11
1.4 Модулі стільникового зв'язку з підтримкою мережі 5G	14
1.5 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	20
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	21
2.1 Способи організації бездротового доступу речей у сучасних мережах	21
2.1.2 Особливості виникнення та розвитку Інтернету речей	21
2.2 Сучасні радіотехнології для зв'язку M2M.....	24
2.2.1 Аналіз початкового доступу в стільникових системах M2M.....	26
2.2.2 Аналіз продуктивності стільникових систем M2M.....	34
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИБРОЮ.....	44
3.1 Архітектура мережі 5G.....	44
3.2 Структурна схема системи мережевого доступу на базі технологій 5G	51
3.3 Алгоритм роботи системи мережевого доступу.....	57
4. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ДЛЯ СИСТЕМИ МЕРЕЖЕВОГО ДОСТУПУ НА БАЗІ МОДУЛЯ SIM8300G-M2	60
4.1 Інтерфейсний додаток модуля	65
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	80
ВИСНОВОК.....	86
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	87
ДОДАТОК А.....	88
ДОДАТОК В.....	90

					ЕЛІТ 8.171.00.01.409 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
		Гагіна О.М.			Система мережевого доступу на базі технологій 5G Пояснювальна записка.	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
		Бережна О.В.					3	
Реценз.					СумДУ,			
Н. Контр.		Гапич В.М						
Затверд.		Опанасюк А.С.						

ВСТУП

П'яте покоління стільникового зв'язку отримало назву 5G. Метою є підвищення швидкості бездротового зв'язку, зменшення затримок та підвищення гнучкості. Потенційна максимальна швидкість технології 5G становить 20 Гбіт/с, але найвища швидкість 4G - лише 1 Гбіт/с. Віртуалізовані і програмно керовані мережі 5G використовують хмарні технології. Завдяки можливості безперешкодного відкритого роумінгу між стільниковим зв'язком і Wi-Fi мережа 5G також полегшить мобільність.

5G також обіцяє зменшення затримок, що може допомогти бізнес-додаткам та іншим цифровим технологіям працювати краще (наприклад, відеоконференціям і самокерованим автомобілям). Час, необхідний пристрою для відповіді один одному через бездротову мережу, називається затримкою. Середній час реакції для мереж 3G становив 100 мілісекунд, для 4G - 30 мілісекунд, а для 5G - лише одну мілісекунду. Це майже миттєво, що дозволить з'явитися новому всесвіту мережевих додатків. Це одна з найшвидших і найнадійніших технологій у світі.

5G забезпечує більш високу швидкість завантаження та вивантаження порівняно з технологіями попередніх поколінь. Хоча спершу розвиток 5G був зосереджений навколо таких варіантів використання, як фіксований бездротовий доступ (FWA) і розширений мобільний широкополосний зв'язок (eMBB), ця технологія розроблена для підтримки нових варіантів використання в інших секторах, таких як виробництво (Industrial IoT), автомобільна промисловість (V2X), матеріально-технічне забезпечення (взвод, дрони) тощо. Ці програми можуть бути створені як «ланцюжки мережі» або реалізовані через виділені приватні мережі.

Основні особливості мереж 5G для цих додатків:

- Надзвичайно низька затримка: 5G підтримує такі концепції, як багаторазова нумерологія (піднесучі частоти), міні-слоти, які допомагають зменшити затримку фізичного зв'язку для вирішення чутливих до часу випадків використання.
- Надійність і якість обслуговування операторського класу: підтримка 5G представляє нові елементи, такі як EN-DC і MR-DC, де кілька з'єднань фізичного рівня можна об'єднати, щоб забезпечити користувачам більш

						ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат			4

надійний радіоінтерфейс. Це також дає змогу створювати наскрізні фрагменти із закріпленими вимогами SLA для кінцевих користувачів.

- Легка масштабованість і скрізне покриття: 5G зможе підтримувати понад тисячу підключених пристроїв на кв.км порівняно з 2-3 тисячами на кв.км під 4G/LTE. Це можливо через 5G HetNet.

Бізнес стане більш продуктивним, а споживачі отримають доступ до більшого обсягу інформації швидше, ніж будь-коли раніше, завдяки 5G та іншим перевагам зв'язку. Мережі 5G підтримуватимуть безпілотний транспорт, VR/AR, охорона здоров'я.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		5

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Технологія 5G: Що таке, як працює

Більшість операторів спочатку об'єднують мережі 5G з існуючими мережами 4G, щоб забезпечити безперервне з'єднання.

Радіочастоти (також відомі як спектр) використовуються в системах бездротового зв'язку для передачі даних на великі відстані. Двома основними компонентами мобільної мережі є "мережа радіодоступу" і "опорна мережа".

5G можна порівняти з 4G. Однак він використовує більш високі, менш завантажені радіочастоти. Це дозволяє їй надсилати більше даних з більшою швидкістю. Міліметрові хвилі - це більш високі частотні діапазони (міліметрові хвилі).

Мережа радіодоступу (RAN)

Мережа радіодоступу з'єднує мобільних користувачів і бездротові пристрої з основною магістральною мережею за допомогою різноманітних засобів, включаючи малі стільники, вежі, щогли і спеціальні внутрішньобудинкові та житлові системи. Малі стільники відіграватимуть важливу роль у мережах 5G, особливо на нових частотах міліметрової хвилі (mmWave), де діапазони з'єднань надзвичайно малі. Малі стільники будуть розосереджені в кластерах на основі того, де клієнти вимагають підключення, щоб забезпечити безперервне з'єднання, доповнюючи макромережу, яка забезпечує широке покриття.

Світовий стандарт для більш потужного бездротового повітряного інтерфейсу 5G, відомий як 5G New Radio, включатиме спектри, не охоплені 4G. У нових антенах будуть використовуватися масові технології MIMO (множинний вхід, множинний вихід), що дозволить численним передавачам і приймачам передавати більше даних одночасно. З іншого боку, технологія 5G не обмежується новим радіодіапазоном. Вона призначена для роботи з конвергентною, гетерогенною мережею, яка використовує як ліцензовані, так і неліцензовані бездротові технології. Це дозволить збільшити обсяг пропускної здатності, доступної для користувачів.

The Core Network

Мережа мобільного зв'язку та передачі даних, яка підтримує всі мобільні телефони, передачу даних та інтернет-з'єднання, відома як "основна мережа"

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат		6

(Core Network). "Основна мережа" для 5G модернізується для кращої взаємодії з Інтернетом і хмарними додатками і включає розосереджені сервери по всій мережі, що поліпшить час відгуку (зменшить затримку). Ядро буде контролювати декілька складних можливостей 5G, таких як віртуалізація мережевих функцій і розбиття мережі на частини для різних додатків і послуг.

Програмно-визначені платформи будуть керувати мережевими функціями, а не апаратними засобами в системах 5G. Хмарні технології, віртуалізація та ІТ, а також автоматизація бізнес-процесів роблять архітектуру 5G адаптивною та гнучкою, дозволяючи користувачам отримувати доступ до інформації в будь-який час і з будь-якого місця.

5G використовуватиме численні вхідні та вихідні антени для покращення сигналів та пропускну здатності по всій бездротовій мережі, щоб подолати цю складність. Технологія також використовуватиме передавачі меншого розміру.

Автоматизація з використанням машинного навчання (ML) також покращує цифровий досвід роботи з 5G. Вимоги до часу реакції в частки секунди (наприклад, для самокерованих автомобілів) змушують мережі 5G використовувати машинне навчання і, в кінцевому підсумку, глибоке навчання і штучний інтелект для автоматизації своїх мереж (ШІ).

Автоматизоване надання трафіку і послуг, а також проактивне управління трафіком і послугами дозволять заощадити витрати на інфраструктуру і поліпшити якість зв'язку.

Network Slices та їх важливість

Network Slices - це програмно-визначені конструкції підмереж, які можуть бути створені в мережах 5G. Адміністратори мережі можуть використовувати ці фрагменти для керування функціональністю мережі залежно від людей і пристроїв.

Фізичну мережу також можна розділити на кілька віртуальних мереж за допомогою технології 5G. Оператори зможуть надавати відповідний фрагмент мережі на основі її використання, що дозволить їм краще керувати своїми мережами. Це означає, що в залежності від важливості завдання оператор зможе вибирати різну пропускну здатність сегментів.

Простіші пристрої можуть бути відокремлені від більш складних і вимогливих додатків, таких як управління безпілотними транспортними засобами. Один користувач, що переглядає потоковий фільм, буде

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		7

використовувати окремий фрагмент корпорації. Фірми можуть орендувати власний відокремлений та ізольований фрагмент мережі, щоб відокремити його від іншого інтернет-трафіку.

1.2 Massive MIMO

MIMO розшифровується як Multiple-input multiple-output. Хоча він охоплює кілька технологій, MIMO можна, по суті, звести до цього єдиного принципу: бездротова мережа, яка дає змогу передавати і приймати більше одного сигналу даних одночасно одним і тим самим радіоканалом. У стандартних мережах MIMO, як правило, використовуються дві або чотири антени. Масивне MIMO, з іншого боку, являє собою систему MIMO з особливо великою кількістю антен.

Немає встановленої цифри того, що являє собою massive MIMO, але опис, як правило, застосовується до систем з десятками або навіть сотнями антен. Наприклад, Huawei, ZTE і Facebook продемонстрували системи Massive MIMO з 96-128 антенами. Air 6468 від Ericsson, який, за твердженням компанії, є "першим у світі радіо 5G NR", використовує 64 передачі[5].

Перевага мережі MIMO перед типовою мережею полягає в тому, що вона може примножувати пропускну здатність бездротового з'єднання, не потребуючи при цьому додаткового спектра. У звітах вказують про значне збільшення пропускну здатності, яка в майбутньому може збільшитися в 50 разів.

Що більше антен має передавач/приймач, то більше можливих шляхів проходження сигналу, а отже, вища продуктивність із погляду швидкості передавання даних і надійності з'єднання.

Мережа Massive MIMO також краще реагуватиме на пристрої, що передають сигнал у вищих частотних діапазонах, що покращить покриття. Зокрема, це матиме значні переваги для отримання сильного сигналу в приміщенні (хоча більш високі частоти 5G матимуть свої власні проблеми в цьому відношенні).

Велика кількість антен у мережі Massive MIMO також зробить її набагато стійкішою до завад та навмисного глушіння, ніж сучасні системи, що використовують лише кілька антен[5].

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		8

Слід також зазначити, що в мережах Massive MIMO буде використовуватися технологія формування променя, що дає змогу цілеспрямовано використовувати спектр. Сучасні мобільні мережі досить тупі в тому, що вони розподіляють єдиний пул спектра між усіма користувачами поблизу, що призводить до зниження продуктивності в густонаселених районах. З Massive MIMO і формуванням променя такий процес здійснюється набагато розумніше й ефективніше, тому швидкість передавання даних і затримка будуть набагато рівномірнішими по всій мережі.

MIMO і 5G

Хоча стандартні принципи MIMO вже використовуються в декількох стандартах Wi-Fi і 4G, Massive MIMO дійсно з'явиться в своїх силах у міру розвитку мереж 5G. Massive MIMO стане ключовим фактором і основним компонентом надшвидкісної технології mmWave 5G, яка вже починає застосовуватися в деяких країнах.

Одна з ключових ролей будь-якої мережі 5G полягає в тому, щоб усунути різке зростання споживання даних, яке спостерігається нині. Згідно з даними Opensignal, порівняно з користувачами 4G, користувачі 5G у середньому споживають у 2,7 рази більше мобільних даних, що в середньому складатиме 15 ГБ мобільних даних на місяць станом на вересень 2020 року [5].

Масштабні MIMO-прориви

Технологія Massive MIMO вже працює на комерційній основі. Японська мережа Softbank запустила першу в історії комерційну мережу Massive MIMO наприкінці 2016 року. На початку вересня 2017 року компанія Ericsson оголосила про запуск нової радіостанції FDD (Frequency Division Duplexing) з підтримкою 5G і Massive MIMO. Компанія стверджувала, що таким чином вона ліквідує розрив між 4G і 5G, збільшивши пропускну здатність існуючого 4G LTE і водночас формуючи основу для 5G.

Китайські компанії-розробники мережевих технологій ZTE і Huawei оголосили про перші європейські тести Massive MIMO в жовтні 2017 року.

Водночас у 2017 році Vodafone і Huawei об'єднали зусилля в Австралії, щоб продемонструвати технологію Massive MIMO в реальних умовах. Їм вдалося використати частотний спектр Vodafone, а також активну антену 5G Huawei (з 32 внутрішніми передавачами і приймачами), аби досягти швидкості передачі даних 717 Мбіт/с між вісьмома пристроями [5].

На початку 2018 року Nokia зробила крок до вдосконалення самої технології Massive MIMO антени з виробництвом свого чіпсета ReefShark. Будучи меншою, легшою та енергоефективнішою, ніж її попередники, Nokia стверджувала, що ReefShark зменшує масивний розмір антени MIMO вдвічі та скорочує споживання енергії в блоках базової смуги на 64%. ReefShark покращили ситуацію, забезпечивши у вісім разів більшу пропускну здатність, ніж попередні покоління, і підтримуючи до 90 000 одночасних користувачів[5].

Корейський технологічний гігант Samsung також працює над технологією Massive MIMO. У своїй штаб-квартирі в Сувоні, Корея, компанія створила так зване "5G City", щоб надати певне уявлення про те, яким може бути життя після впровадження 5G.

Одним з основних елементів цього "5G City" став так званий "5G стадіон", який наочно продемонстрував, як масована технологія MIMO може забезпечити одночасну трансляцію відео високої чіткості без затримок і переривань для натовпу людей. Тестування продуктивності декількох паралельних сигналів насправді було досить складним завданням для телекомунікаційної галузі. Компанія Cobham Wireless вирішила цю проблему в березні 2018 року за допомогою багатопроменевого рішення для тестування продуктивності Massive MIMO, яке вона розробила спільно з Китайським науково-дослідним інститутом мобільного зв'язку. Воно дозволяє проводити тестування у віртуальному середовищі, яке імітує реальні умови, що стало кроком вперед у порівнянні з обмеженими лабораторними випробуваннями, які йому передували[5].

На виставці MWC(Mobile World Congress) 2019 у Барселоні компанія Ericsson отримала нагороду за найкращу інфраструктуру мобільної мережі за свою технологію 5G з широкосмуговим масовим MIMO. Це перше в історії комерційне рішення розширеного мобільного широкосмугового зв'язку, що працює на міліметрових хвилях (mmWave), так званих вищих частотних діапазонах, які в майбутньому визначатимуть 5G

Сьогодні технологія Massive MIMO регулярно розгортається для задоволення високих вимог наших мереж 5G, що розширюються. Через два роки після розгортання 5G було виявлено, що Massive MIMO та інші технології широкосмугового зв'язку "можуть покращити користувацький

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		10

досвід в 10 разів і стали вибором більшості операторів по всьому світу", згідно з Huawei[5].

І це ще не все, що стосується надшвидкого спектру mmWave. Компанія Samsung представила нове дводіпазонне масове радіо AWS/PCS Massive MIMO Radio, яке підтримує обидва спектри AWS і PCS середнього діапазону в компактному форм-факторі.

1.3 Гетерогенні мережі 5G

Малі стільники

Малі стільники в мережі 5G - це базова станція, яка відіграє критично важливу роль в загальній мережі. Вони називаються "малі стільники" на відміну від "макроклітин", що використовуються в мережах 4G, оскільки вони відносно менші. Оскільки вежі 5G не потребують багато енергії, їх можна зробити відносно невеликими. Це важливо не тільки з точки зору естетики, але й з точки зору ефективності використання простору - малі стільники підтримують високочастотні міліметрові хвилі, які мають обмежений радіус дії.

Вежа стільникового зв'язку 5G - це, по суті, просто невелика коробочка, як ви бачите на рисунку 1.3.1. Хоча більшість реалізацій відбувається саме так, деякі компанії ховають антени під кришками каналізаційних люків, щоб розширити свою мобільну мережу на вулицях.



Рисунок 1.1 – Базові станції 5G та 4G

У бездротових мережах наступного покоління 5G будуть працювати додатки, що вимагають високої швидкості передачі даних. Одним з варіантів вирішення проблеми швидкості передачі даних є забезпечення можливості

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат		11

ущільнення мережі за рахунок розгортання малих стільників. Таке ущільнення призводить до більш високої спектральної ефективності, а також може знизити енергоспоживання мобільного за рахунок його зв'язку з сусідніми пікосотами. Таке рішення значно покращує покриття мережі. Однак, це рішення вимагає інновацій в області мініатюризації обладнання та зниження витрат на проектування базових станцій малих стільникових мереж. Такі базові станції можуть бути розгорнуті як малопотужні фемтостільники, які зазвичай використовуються на підприємствах/в житлових приміщеннях, або як більш потужні пікостільники для покращення зовнішнього покриття макростільників. Одночасна робота макро-, мікро-, піко- і фемто-стільників називається гетерогенними мережами (HetNets). Управління завадами є однією з найбільш важливих проблем через нескоординовану природу розгортання HetNet. Проте, 3GPP визначив різні сценарії і вимоги до вдосконалення малих стільників.

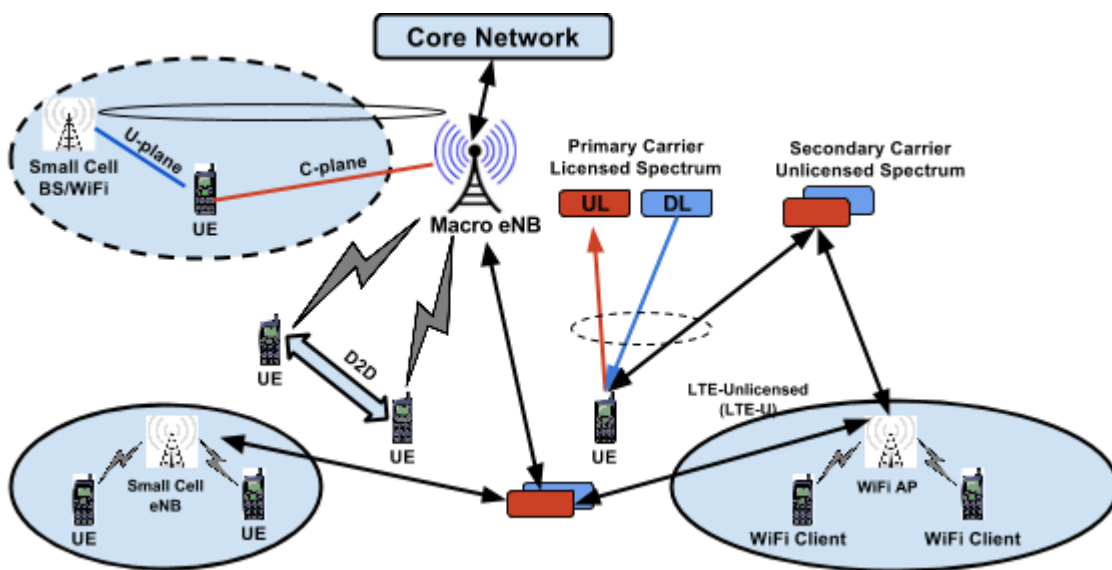


Рисунок 1.2 – Гетерогенна мережа 5G

Незважаючи на свій розмір, малі стільники не є слабкими. Технологія всередині них дозволяє 5G працювати так швидко і підтримувати зростаючу кількість пристроїв, які потребують доступу до Інтернету.

Усередині невеликої комірки знаходиться радіобладнання, необхідне для передачі даних на підключені пристрої та з них. Антени всередині невеликої комірки мають високу спрямованість і використовують так зване формування променя, щоб привернути увагу до дуже конкретних областей навколо вежі. Ці пристрої також можуть швидко регулювати

енергоспоживання на основі поточного навантаження. Це означає, що коли радіостанція не використовується, вона переходить в стан зниженої потужності всього за кілька мілісекунд, а потім так само швидко переналаштовується, коли потрібна більша потужність[8].

Малі стільники 5G досить прості за конструкцією і можуть бути встановлені менш ніж за кілька годин, а іноді навіть швидше, як у випадку з 15-хвилинним рішенням Ericsson для вуличних ліхтарів, Street Radio 4402. Це відрізняється від більш громіздких веж 4G, встановлення і запуск яких займає набагато більше часу[8].

Звичайно, малі стільники також потребують джерела живлення і магістралі для підключення до мережі 5G оператора і, врешті-решт, до Інтернету. Оператор може вибрати дротове оптоволоконне з'єднання або бездротову мікрохвильову лінію.

Малі стільники - це загальний термін; існує три підтипи, кожен з яких має своє призначення через різні розміри, зони покриття і вимоги до потужності. Мікроелементи та пікоелементи добре підходять для зовнішнього використання, оскільки вони мають радіус дії до 200-2000 метрів (трохи більше милі) відповідно. Фемтоелементи краще використовувати в приміщенні через радіус покриття менше 10 метрів (32 футів).

Новий тип носія

Останнім часом наукові кола та промисловість (3GPP) намагаються покращити роботу малих стільникових мереж шляхом розділення площини управління та площини передачі даних. Основна ідея полягає в тому, що площина управління забезпечує зв'язок і мобільність, в той час як площина користувача забезпечує передачу даних. Це призводить до того, що обладнання користувача (UE) підключається до декількох базових станцій, тобто макро- та малих стільників. Таке визначення нового типу носія в 3GPP (Rel 8-10) призводить до покращення спектральної ефективності, оскільки передача даних здійснюється малими стільниками. Також спостерігається значне підвищення енергоефективності мережевої інфраструктури, оскільки малі стільники можуть відключатися у разі низького навантаження.

Співіснування LTE/WiFi

При проектуванні бездротової мережі 5G відбудеться значна конвергенція між мережами LTE/WiFi. Промисловість вже пропонує використовувати LTE в неліцензійних діапазонах. Такий підхід дозволить

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат		13

легше розвантажити трафік від LTE до неліцензійних діапазонів. Однак, таке розвантаження створює проблеми з якістю обслуговування (QoS) для кінцевих користувачів через некерованість та переповненість сучасних розгортань WiFi. Робоча група IEEE 802.11 також ініціювала створення дослідницької групи з високоефективних бездротових локальних мереж (High Efficiency WLAN, HEW) для вирішення проблеми ущільнення точок доступу та терміналів[8].

Зв'язок між пристроями

Зв'язок "пристрій-пристрій" (D2D) - це підхід, при якому термінали, що знаходяться поруч, автоматично виявляють себе і взаємодіють один з одним без участі базової станції. Такий підхід є високоефективним з точки зору управління енергоспоживанням, а також дозволяє зменшити завади в неліцензованих частотних діапазонах.

Традиційна архітектура стільникового зв'язку не дозволяє користувачькому обладнанню (UE) взаємодіяти безпосередньо. Однак, коли пристрої знаходяться поруч, це може бути дуже неефективно, і D2D може бути особливо корисним в сценаріях зв'язку машинного типу (MTC), де є велика кількість пристроїв, що працюють в тісному контакті один з одним. D2D в поєднанні з тим, що він може бути скоординований з базовими станціями, може принести значні переваги існуючій архітектурі стільникового зв'язку як з точки зору енергоефективності, так і з точки зору спектральної ефективності. В даний час D2D є активною темою для обговорення в рамках 3GPP[8].

1.4 Модулі стільникового зв'язку з підтримкою мережі 5G

Модуль Quectel RM520N Series

Quectel Wireless Solutions, глобальний постачальник рішень IoT, оголосив, що його модуль 5G NRRM520N-GL, сумісний зі стандартами 3GPP Release 16 (R16), був сертифікований для роботи в мережах 5G та LTE-A T-Mobile в Сполучених Штатах.

Завдяки цій сертифікації клієнти RM520N-GL можуть комерційно розгортати свої домашні шлюзи, промислові маршрутизатори, пристрої промислової автоматизації, безпілотні транспортні засоби доставки, роботи, дрони, споживчі та промислові ноутбуки та інші додатки Інтернету речей наступного покоління в мережах 5G і LTE-A від T-Mobile.

						ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			14

Заснований на платформі Qualcomm SDX62, RM520N-GL підтримує режими 5G NSA і SA, а також розширені функції R16, такі як надвисока пропускна здатність, затримка на мілісекундному рівні, нарізка мережі 5G і наднадійність.

Націлений на глобальні ринки, цей модуль призначений для підтримки 28 основних діапазонів до 6 ГГц по всьому світу (n1/ 2/ 3/ 5/ 7/ 8/ 12/ 13/ 14/ 18/ 20/ 25/ 26/ 28/ 29/ 30/ 38/ 40/ 41/ 48/ 66/ 70/ 71/ 75/ 76/ 77/ 78/ 79), має зворотну сумісність з мережами LTE-A/3G та інтегровану GNSS для надання послуг з визначення місцезнаходження. Цей високоінтегрований модуль може значно покращити процес розгортання глобального Інтернету речей[9].

RM520N-GL виконаний у стандартному для галузі форм-факторі M.2, розміри якого складають 30,0 мм x 52,0 мм x 2,3 мм, що робить його сумісним з модулями 5G Quectel серії RM50xQ, модулями LTE-A Cat 6 EM06/ EM060K, модулями Cat 12 EM12/ EM12xR/ EM120K і модулем Cat 16 EM160R-GL, що полегшує модернізацію мережі на пристроях клієнтів.

RM520N-GL підтримує низхідний і висхідний канали NR 2 x Carrier Aggregation (CA) і всі три комбінації дуплексу з тимчасовим розподілом каналів (TDD) і дуплексу з частотним розподілом каналів (FDD) в діапазоні sub-6 ГГц, включно з CA FDD+TDD, FDD+FDD і TDD+TDD. Це забезпечує більш широке покриття, ємність і пропускну здатність 5G завдяки можливості комбінування доступних спектральних активів 5G. Ці характеристики дають змогу RM520N-GL мати максимальну швидкість низхідної передачі даних до 3,4 Гбіт/с і максимальну швидкість висхідної передачі даних до 900 Мбіт/с. Такі швидкості передавання даних відповідають потребам промислових застосунків, що вимагають розширеного мобільного широкосмугового та надійного зв'язку, таких як фіксований бездротовий доступ (FWA), мобільне широкосмугове обладнання та промислова автоматизація[9].

Володіючи багатим набором інтернет-протоколів, RM520N-GL підтримує безліч додаткових функцій, включно з eSIM і VoLTE, та інтегрує надшвидкісні інтерфейси USB 3.1/ PCIe 3.0.

На додаток до схвалення T-Mobile, RM520N-GL компанії Quectel також отримав сертифікацію по всьому світу від GCF, PTCRB, CE, CCC, RCM, FCC та IC.

Щоб допомогти клієнтам спростити свої розробки, Quectel також пропонує повний спектр готових і спеціалізованих антен 5G, які значно підвищують ефективність бездротового зв'язку. Розробники IoT можуть комплектувати модуль RM520N-GL антенами та послугами попередньої сертифікації Quectel, що дасть змогу скоротити витрати та час виведення на ринок пристроїв 5G[9].

Ключові характеристики (рис. 1.3):

- Багатомодовий модуль 5G/4G/3G з форм-фактором M.2, оптимізований для додатків IoT і eMBB.
- Покриття 5G і LTE-A по всьому світу.
- Підтримуються режими NSA і SA.
- Багатоканальний GNSS-приймач доступний для додатків, що вимагають швидкого і точного визначення координат у будь-яких умовах.
- Удосконалення функцій: DFOTA* і VoLTE (опціонально).

Модуль Quectel RG50xQ Series

Quectel RG50xQ - серія LGA-модулів 5G Sub-6 ГГц, оптимізованих спеціально для додатків IoT і M2M. Використовуючи технологію 3GPP Rel-15, він забезпечує максимальну швидкість передавання даних до 5 Гбіт/с по низхідному каналу і 900 Мбіт/с по висхідному каналу. Підтримує режими 5G NSA і SA, мережеву архітектуру варіантів 3x, 3a, 3 і варіанту 2, що робить його зворотно сумісним із мережами 4G/3G. Він сумісний з модулем Quectel LTE-A Cat 12 EG512R-EA. Він може забезпечити задоволення різних вимог клієнтів до високої швидкості, великої ємності, низької затримки, високої надійності тощо[10].

Серія RG50xQ включає в себе п'ять варіантів модулів: RG500Q-EA, RG502Q-EA, RG500Q-EU, RG501Q-EU, RG502Q-EU, RG500Q-GT, RG502Q-GT, RG500Q-CN. RG50xQ підтримує технологію визначення місця розташування Qualcomm® IZat™ Gen9C Lite (GPS, GLONASS, BDS, Galileo і QZSS). Вбудований GNSS-приймач значно спрощує розробку продукту і забезпечує більш швидке, точне і надійне визначення місця розташування (рис. 1.4, 1.5) [10].

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		16

Quectel RM520N Series

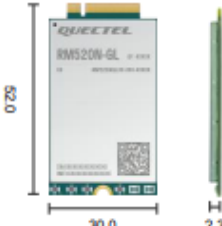

5G Sub-6	RM520N-GL	RM520N-EU
Region/Operator	Global	EMEA/APAC [®] /Brazil
Dimensions (mm)		
Weight (g)	Approx. 8.7	Approx. 8.7
Supply Voltage Range (V)	3.135–4.4, Typical 3.7	3.135–4.4, Typical 3.7
Power Consumption	195 µA @ Power down 4.7 mA @ Sleep 41 mA @ USB 2.0, Idle 60 mA @ USB 3.0, Idle	TBD @ Power down TBD @ Sleep TBD @ USB 2.0, Idle TBD @ USB 3.0, Idle
Temperature Range		
Operation Temperature	-30 °C to +75 °C	-30 °C to +75 °C
Extended Temperature	-40 °C to +85 °C	-40 °C to +85 °C
Frequency Bands		
5G NR	NSA n1/ 2/ 3/ 5/ 7/ 8/ 12/ 13/ 14/ 18/ 20/ 25/ 26/ 28/ 29/ 30/ 38/ 40/ 41/ 48/ 66/ 70/ 71/ 75/ 76/ 77/ 78/ 79	n1/ 3/ 5/ 7/ 8/ 20/ 28/ 38/ 40/ 41/ 71/ 75/ 76/ 77/ 78
	SA n1/ 2/ 3/ 5/ 7/ 8/ 12/ 13/ 14/ 18/ 20/ 25/ 26/ 28/ 29/ 30/ 38/ 40/ 41/ 48/ 66/ 70/ 71/ 75/ 76/ 77/ 78/ 79	n1/ 3/ 5/ 7/ 8/ 20/ 28/ 38/ 40/ 41/ 71/ 75/ 76/ 77/ 78
LTE	LTE-FDD B1/ 2/ 3/ 4/ 5/ 7/ 8/ 12/ 13/ 14/ 17/ 18/ 19/ 20/ 25/ 26/ 28/ 29/ 30/ 32/ 66/ 71	B1/ 3/ 5/ 7/ 8/ 20/ 28/ 32/ 71
	LTE-TDD B34/ 38/ 39/ 40/ 41/ 42/ 43/ 48	B38/ 40/ 41/ 42/ 43
	LAA B46	-
UMTS	WCDMA B1/ 2/ 4/ 5/ 8/ 19	B1/ 5/ 8
GNSS	GPS/ GLONASS/ BDS/ Galileo/ QZSS	GPS/ GLONASS/ BDS/ Galileo/ QZSS
Certifications		
Regulatory	GCF/ PTCRB/ CE/ Anatel*/ CCC/ RCM/ IC/ FCC/ JATE*/ TELEC*/ KC*/ NCC*	CE*/RCM*
Carrier	T-Mobile/ Verizon*/ AT&T*/ NTT DOCOMO*/ Deutsche Telekom*/ Telstra*	TBD
Others	RoHS	RoHS
Data Rate (Max.) ^②		
5G SA Sub-6	DL 2.4 Gbps; UL 900 Mbps	DL 2.4 Gbps; UL 900 Mbps
5G NSA Sub-6	DL 3.4 Gbps; UL 550 Mbps	DL 3.4 Gbps; UL 550 Mbps
LTE	DL 1.6 Gbps; UL 200 Mbps	DL 1.6 Gbps; UL 200 Mbps
WCDMA	DL 42 Mbps; UL 5.76 Mbps	DL 42 Mbps; UL 5.76 Mbps
Interface		
(U)SIM	× 2	× 2
USB 2.0	× 1	× 1
USB 3.0/3.1	× 1	× 1
PCIe 3.0	× 1	× 1
Antenna (Sub-6/GNSS)	× 4	× 4
Voice		
Voice	VoLTE (Voice over LTE) (Optional)	Digital Audio* and VoLTE (Voice over LTE) (Optional)
Enhanced Features		
eSIM*	○	○
DTMF*	●	●
DFOTA*	●	●
(U)SIM Card Detection	●	●

Рисунок 1.3 – Характеристики модуля Quectel RM520N Series

Quectel RG50xQ Series

5G Sub-6	RG500Q-EA&RG502Q-EA	RG500Q-EU&RG501Q-EU&RG502Q-EU	RG500Q-CN	RG500Q-GT&RG502Q-GT
Region/Operator	EMEA/APAC	EMEA, APAC, Australia ,Brazil	China	Global
Dimensions (mm)	41.0 × 44.0 × 2.75	41.0 × 44.0 × 2.75	44.0 × 41.0 × 2.75	44.0 × 41.0 × 2.75
Weight (g)	11.0	11.0	11.0	11.0
Temperature Range				
Operating Temperature	-30 °C to +75 °C	-30 °C to +75 °C	-30 °C to +75 °C	-30 °C to +75 °C
Extended Temperature	-40 °C to +85 °C	-40 °C to +85 °C	-40 °C to +85 °C	-40 °C to +85 °C
Frequency Bands ⁽¹⁾				
5G NR NSA	n1/n3/n5/n7/n8/n20/n28/n38/n40/n41/	n1/n3/n5/n7/n8/n20/n28/n38/n40/n41/n77/	n41/n78/n79	-
5G NR SA	n1/n3/n5/n7/n8/n20/n28/n38/n40/n41/	n1/n3/n5/n7/n8/n20/n28/n38/n40/n41/n77/	n1/n28/n41/n78/n79	n78
LTE-FDD	B1/B3/B5/B7/B8/B18/B19/B20/B26/B28/	B1/B3/B5/B7/B8/B20/B28/B32	B1/B3/B5/B8	-
LTE-TDD	B34/B38/B39/B40/B41/B42/B43	B38/B40/B41/B42/B43	B34/B38/39/B40/B41	B42/B43
LAA	-	-	-	-
WCDMA	B1/B3/B5/B6/B8/B19	B1/B5/B8	B1/B8	-
MIMO	DL: 4 × 4 UL ⁽²⁾ : 2 × 2	DL: 4 × 4 UL ⁽²⁾ : 2 × 2	DL: 4 × 4 UL ⁽²⁾ : 2 × 2	DL: 4 × 4 UL ⁽²⁾ : 2 × 2
GNSS	GPS/GLONASS/BDS/Galileo/QZSS (Optional)	GPS/GLONASS/BDS/Galileo/QZSS (Optional)	GPS/GLONASS/BDS/Galileo/QZSS (Optional)	-
Certifications				
Carrier	RG500Q-EA: South Korea: LGU+/KT/SKT Australia: Telstra* China: China Telecom/China Mobile/ China Unicom RG502Q-EA: TBD	TBD	China: China Telecom/China Mobile/ China Unicom*	TBD
Regulatory	RG500Q-EA: China: SRRC/ NAL/ CCC South Korea: KC Japan: JATE/TELEC Europe: CE Australia/New Zealand: RCM RG502Q-EA: Europe: CE Australia/New Zealand: RCM	RG500Q-EU: Europe: CE Australia/New Zealand: RCM RG501Q-EU: Global: GCF Europe: CE Australia/New Zealand: RCM RG502Q-EU: Europe: CE Australia/New Zealand: RCM	China: SRRC/NAL/CCC	Europe: CE Australia/New Zealand: RCM
Others	RoHS	RoHS	RoHS	RoHS
Max. Data Transmission ⁽³⁾				
5G SA Sub-6 GHz	RG500Q-EA: 2.1 Gbps (DL)/ 900 Mbps (UL) RG502Q-EA: 4.2 Gbps (DL)/ 900 Mbps (UL)	RG500Q-EU: 2.1 Gbps (DL)/ 900 Mbps (UL) RG501Q-EU: 2.1 Gbps (DL)/ 900 Mbps (UL) RG502Q-EU: 4.2 Gbps (DL)/ 900 Mbps (UL)	2.1 Gbps (DL)/ 900 Mbps (UL)	RG500Q-GT: 2.1 Gbps (DL)/ 900 Mbps (UL) RG502Q-GT: 4.2 Gbps (DL)/ 900 Mbps (UL)
5G NSA Sub-6 GHz	RG500Q-EA: 2.5 Gbps (DL)/ 650 Mbps (UL) RG502Q-EA: 5.0 Gbps (DL)/ 650 Mbps (UL)	RG500Q-EU: 2.5 Gbps (DL)/ 650 Mbps (UL) RG501Q-EU: 3.3 Gbps (DL)/ 650 Mbps (UL) RG502Q-EU: 5.0 Gbps (DL)/ 650 Mbps (UL)	2.5 Gbps (DL)/ 550 Mbps (UL)	-
LTE	RG500Q-EA: 1.0 Gbps (DL)/ 200 Mbps (UL) RG502Q-EA: 2.0 Gbps (DL)/ 200 Mbps (UL)	RG500Q-EU: 1.0 Gbps (DL)/ 200 Mbps (UL) RG501Q-EU&RG502Q-EU: 2.0 Gbps (DL)/ 200 Mbps (UL)	800 Mbps (DL)/ 200 Mbps (UL)	RG500Q-GT: 700 Mbps (DL)/ 116 Mbps (UL) RG502Q-GT: 1.2Gbps (DL)/ 116 Mbps (UL)
UMTS	42 Mbps (DL)/ 5.76 Mbps (UL)	42 Mbps (DL)/ 5.76 Mbps (UL)	42 Mbps (DL)/ 5.76 Mbps (UL)	-
Interfaces				
(U)SIM	× 2, 1.8/2.95 V	× 2, 1.8/2.95 V	× 2, 1.8 V/2.95 V	× 2, 1.8 V/2.95 V
eSIM	-	MFF2 (Optional)	MFF2 (Optional)	MFF2 (Optional)
UART	× 3	× 3	× 3	× 3
SD Card	× 1	× 1	× 1	× 1
USB 2.0/3.0/3.1	× 1	× 1	× 1	× 1
PCIe 3.0	Gen3, Lane × 2	Gen3, Lane × 2	Gen3, Lane × 2	Gen3, Lane × 2
RGMII	× 1	× 1	× 1	× 1
PCM*	× 1	× 1	× 1	× 1
I2S*	× 1	× 1	× 1	× 1
I2C	× 1	× 1	× 1	× 1
SPI	× 1	× 1	× 1	× 1
ADC	●	●	●	●
RESET_N	●	●	●	●
GPIOs (QuecOpen[®])	●	●	●	●
Wi-Fi	●	●	●	●
Antennas	Cellular: 6 + 2 (n79) GNSS: × 1	Cellular: × 4 + 2 (Optional) GNSS: × 1	Cellular: 4 GNSS: × 1	Cellular: 4

Рисунок 1.4 – Характеристики модулів Quectel RG50xQ Series

Quectel RG50xQ Series

5G Sub-6	RG500Q-EA&RG502Q-EA	RG500Q-EU&RG501Q-EU&RG502Q-EU	RG500Q-CN	RG500Q-GT&RG502Q-GT
Voice				
Voice	Digital Audio and VoLTE (Voice over LTE) (Optional)	Digital Audio and VoLTE (Voice over LTE) (Optional)	Digital Audio and VoLTE (Voice over LTE) (Optional)	Digital Audio and VoLTE (Voice over LTE) (Optional)
Enhanced Features				
DTMF*	●	●	●	●
DFOTA	●	●	●	●
(U)SIM Card Detection	●	●	●	●
Drivers				
USB Serial Driver	Windows 7/8/8.1/10, Linux 2.6-5.15, Android 4.x-11.x	Windows 7/8/8.1/10, Linux 2.6-5.15, Android 4.x-11.x	Windows 7/8/8.1/10, Linux 2.6-5.15, Android 4.x-11.x	Windows 7/8/8.1/10, Linux 2.6-5.15, Android 4.x-11.x
PCIe MHI Driver	Linux 3.10-5.15	Linux 3.10-5.15	Linux 3.10-5.15	Linux 3.10-5.15
GNSS Driver	Android 4.x-12.x	Android 4.x-12.x	Android 4.x-12.x	-
RIL Driver	Android 4.x-12.x	Android 4.x-12.x	Android 4.x-12.x	Android 4.x-12.x
USB NDIS Driver	Windows 7/8/8.1/10	Windows 7/8/8.1/10	Windows 7/8/8.1/10	Windows 7/8/8.1/10
USB MBIM Driver	Windows 10, Linux 3.18-5.15	Windows 10, Linux 3.18-5.15	Windows 10, Linux 3.18-5.15	Windows 10, Linux 3.18-5.15
USB GobiNet Driver	Linux 2.6-5.15	Linux 2.6-5.15	Linux 2.6-5.15	Linux 2.6-5.15
USB RNDIS Driver*	Windows 10, Linux 2.6-5.15	Windows 10, Linux 2.6-5.15	Windows 10, Linux 2.6-5.15	Windows 10, Linux 2.6-5.15
USB ECM Driver	Linux 2.6-5.15	Linux 2.6-5.15	Linux 2.6-5.15	Linux 2.6-5.15
USB QMI_WWAN Driver	Linux 3.4-5.15	Linux 3.4-5.15	Linux 3.4-5.15	Linux 3.4-5.15
Electrical Features				
Supply Voltage Range	3.3-4.3 V, typ. 3.8 V	3.3-4.3 V, typ. 3.8 V	3.3-4.3 V, typ. 3.8 V	3.3-4.3 V, typ. 3.8 V
Output Power	Class 3 (24 dBm +1/-3 dB) for WCDMA bands Class 3 (23 dBm ±2 dB) for LTE bands Class 3 (23 dBm ±2 dB) for 5G NR bands Class 2 (26 dBm ±2 dB) for LTE B38/B40/B41/B42/B43 bands HPUE ^(d) Class 2 (26 dBm +2/-3 dB) for 5G NR n41/n77/n78/n79 bands HPUE ^(d)	Class 3 (23 dBm ±2 dB) for LTE bands Class 3 (23 dBm ±2 dB) for 5G NR bands Class 2 (26 dBm ±2 dB) for B42 bands HPUE ^(d) Class 2 (26 dBm +2/-3 dB) for 5G NR n41/n77*/n78 bands HPUE ^(d)	Class 3 (24 dBm +1/-3 dB) for WCDMA bands Class 3 (23 dBm ±2 dB) for LTE bands Class 3 (23 dBm ±2 dB) for 5G NR bands Class 2 (26 dBm +2/-3 dB) for 5G NR n41/n78/n79 bands HPUE ^(d)	Class 3 (23 dBm ±2 dB) for LTE bands Class 3 (23 dBm ±2 dB) for 5G NR bands Class 2 (26 dBm ±2 dB) for B42/B43 bands HPUE ^(d) Class 2 (26 dBm +2/-3 dB) for 5G NR n78 bands HPUE ^(d)
Power Consumption (Typical)	0.045 mA @ Power off 1.5 mA @ Sleep 20.1 mA @ Idle	0.045 mA @ Power off 2.0 mA @ Sleep 30 mA @ Idle	0.045 mA @ Power off 2.0 mA @ Sleep 30 mA @ Idle	0.045 mA @ Power off 2.0 mA @ Sleep 30 mA @ Idle

Рисунок 1.5 – Характеристики модулів Quectel RG50xQ Series

Багатий набір інтернет-протоколів, стандартні інтерфейси (USB 2.0/3.0/3.1, PCIe 3.0, RGMII, PCM, UART і т. д.) і безліч функціональних можливостей (драйвери USB для Windows 7/8/8.1/10, Linux і Android) розширюють застосовність модуля для широкого спектра застосунків IoT і M2M, таких як бізнес-маршрутизатор, домашній шлюз, STB, промисловий ноутбук, споживчий ноутбук, промисловий КПК, міцний планшетний ПК і відеоспостереження [10].

Ключові фактори:

- Оптимізовані для додатків IoT і M2M з підтримкою форм-фактора LGA.
- Покриття 5G/4G/3G по всьому світу.
- Підтримуються режими 5G NSA і SA.
- Багатоканальний GNSS-приймач для застосунків, що вимагають швидкого і точного позиціонування в будь-яких умовах.
- Удосконалення функцій: DFOTA і VoLTE (опціонально).

1.5 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Отже, метою роботи є розробка системи мережевого доступу на базі технологій 5G, яка взаємодіє з системами M2M, що містять велику кількість сенсорів, лічильників і вимірювачів, які передають свої дані через мережеву інфраструктуру в автоматизованому режимі та які охоплюють широкий спектр додатків та можуть переносити деяке підвищення затримки.

Система повинна буде забезпечувати функціонування інформаційних мереж із використанням даної технології, підвищення швидкості та стабільності обміну інформацією між абонентами інформаційної мережі за допомогою M2M.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступне:

1. Визначити основні функції та завдання, які повинен виконувати пристрій з технологією радіодоступу мережі 5G.
2. Виконати дослідження технологій Інтернету речей, які базуються на концепції міжмашинної взаємодії M2M.
3. Розробити алгоритм функціонування пристрою.
4. Розробити схему електричну структурну пристрою.
5. Розробити схему електричну функціональну для пристрою на базі технологій мережі 5G.
6. Розробити схему електричну принципову.
7. Розрахувати собівартість та ціну приладу.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Способи організації бездротового доступу речей у сучасних мережах

2.1.2 Особливості виникнення та розвитку Інтернету речей

Походження технологій M2M. На думку експертів, людство перебуває на порозі нової промислової революції, яка обіцяє колосальні економічні та соціальні блага внаслідок повсюдного підключення до мережі Інтернет регіонів, об'єктів і навіть процесів. Центральна доктрина Інтернету речей передбачає з'єднання всіляких сутностей, що оточують нас, званих "речі", їх виявлення та іменування, а також інтеграцію з інфраструктурою мережі Інтернет. Ця галузь знань охоплювала цілу низку різноманітних сенсорних, телекомунікаційних, мережевих та інформаційних технологій, а також методів зберігання й оброблення даних, і нині має значний потенціал для створення технологічних інновацій, які використовуються безліччю компаній для отримання свого прибутку. Основоположні технології в рамках Інтернету речей базуються на концепції міжмашинної взаємодії M2M, надаючи автономним і автоматичним пристроям (таким як сенсори, силові приводи, промислові роботи, інтелектуальні вимірювачі тощо) можливість взаємодіяти один з одним, а також з мережею Інтернет при мінімальному залученні користувача системи.

Ранні форми M2M-з'єднань відносять до промислових систем диспетчерського управління та збору даних SCADA, які активно використовували з 1980-х років, але, по суті, тоді являли собою ізольовані та одиничні рішення. На шляху свого подальшого розвитку технології M2M абсорбували методи радіочастотної ідентифікації RFID, а також засоби організації бездротових сенсорних мереж WSN, що послідували за ними. Передумовами активного поширення систем M2M в недавні роки стали дешевший і доступніший бездротовий зв'язок, ефективні хмарні системи зберігання і обробки даних, а також велика різноманітність пристроїв різної продуктивності, вартості та споживаної потужності.

На сьогоднішній день сервіси M2M охоплюють широкий спектр додатків - від переносних пристроїв для фітнесу та медичних цілей до автономних і безпілотних автомобілів. Це зумовлює бурхливе зростання

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		21

кількості підключених M2M-пристроїв з поточних 10 мільярдів до 24-50 мільярдів у найближчому майбутньому, що підтверджують прогнози таких компаній і асоціацій, як Cisco, Ericsson і GSMA. Найближчим десятиліттям очікується, що предмети повсякденного вжитку, включно з меблями, харчовими контейнерами і навіть паперовими документами, зможуть отримати можливість доступу в мережу Інтернет. Для позначення такої майбутньої трансформації Інтернету було запропоновано кілька нових понять, таких як Інтернет Усього (компанія Cisco), що з'єднає воедино людей, процеси, інформацію та речі, а також Індустріальний Інтернет (компанія General Electric та ін.), що спрощує роботу застосунків, які мають життєво важливе значення та пов'язані з промисловою автоматизацією, управлінням виробничими процесами тощо.

Ретроспектива розвитку технологій M2M. Історично сформована на ринку застосунків IoT фрагментація, підкріплена тривалою практикою створення одиничних нішевих рішень, істотно ускладнює управління системами M2M, сповільнює розвиток інноваційних продуктів у цій галузі та ускладнює контроль над відповідними накладними витратами. Як наслідок, наразі IoT є надмірно розгалуженою і складною неоднорідною екосистемою, що містить у собі всілякі радіотехнології M2M, такі як ZigBee, WirelessHART, 6LoWPAN, WiFi, Bluetooth, ISA100.11a, MiWi, BACnet, Z-Wave і багато інших. Таким чином, створення універсальної бездротової інфраструктури стає дедалі актуальнішим завданням, розв'язання якого вимагає перегляду традиційних підходів до побудови, розміщення, обслуговування та використання наявних і перспективних систем M2M.

У результаті бездротові технології для побудови IoT перебувають зараз на роздоріжжі і налічують безліч конкуруючих рішень M2M, які претендують на першість у цій ніші. Основну конкуренцію традиційним ZigBee-подібним підходам складають енергоефективні мережі дальнього радіусу дії LPWAN, такі як LoRaWAN і SIGFOX, системи WiFi HaLow (IEEE 802.11ah) малої потужності, а також різні доповнення до стільникових технологій 4G і 5G, призначені для підтримки M2M-додатків. Такі відносно більш сучасні підходи стають істотно привабливішими для розгортання мереж IoT щодо як доступності, так і надійності радіоз'єднання. Вони дають змогу зняти обмеження під час збирання даних у всіляких застосунках M2M і, тим самим, стають більш придатними для забезпечення перспективних IoT-сервісів.

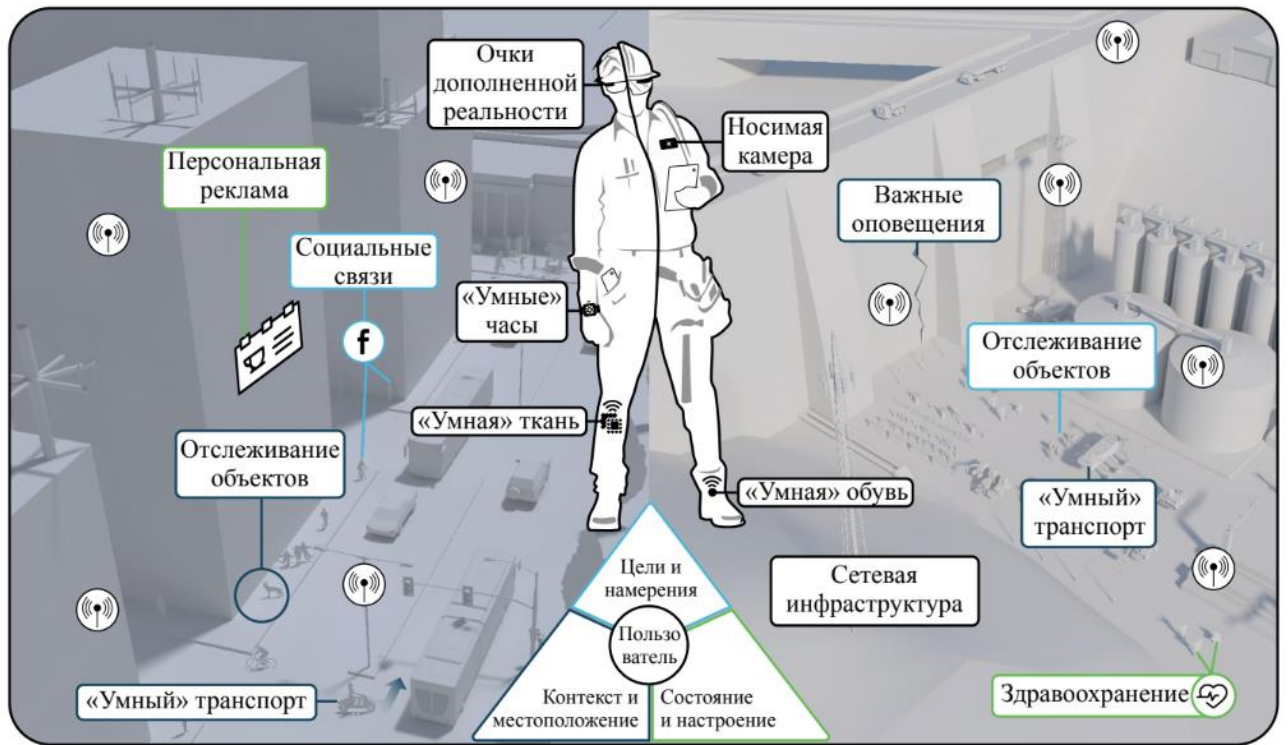
					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат		22

Особливості міжмашинної взаємодії. Порівняно з традиційними способами обміну інформацією між людьми Н2Н організація з'єднань М2М має низку унікальних особливостей, серед яких слід зазначити дуже велике число під'єднаних до мережі пристроїв, відносно малий обсяг даних під час кожного відправлення та порівняно нечасті спроби передавання.

Дійсно, незважаючи на потенційно велике число пристроїв, вони в основному передають короткі фрагменти даних з досить тривалими паузами. З метою економії батареї обладнання М2М проявляє активність тільки лише протягом досить коротких інтервалів часу, що призводить до нечастих і, як правило, стійких до затримки сесій. Наприклад, кількість лічильників води, електрики і газу може бути вкрай велике (аж до 35 тисяч штук на соту), але інтервали між відправленнями даних від кожного з них бувають значними, і допускається, що інформація прибуде з деяким запізненням.

Усі ці специфічні особливості міжмашинної взаємодії вимагають створення відповідних засобів радіозв'язку. При цьому різняться режими передавання пристроєм М2М своїх даних безпосередньо в мережу доступу або ж на проміжний вузол, що агрегує, з подальшим пересиланням у мережу. Крім того, сусідні М2М-пристрої можуть скористатися прямими каналами D2D для відправки своїх даних, минаючи таким чином необхідність залучення інфраструктури оператора.

Альтернативним і більш сучасним рішенням з організації міжмашинної взаємодії стає використання технологій мобільного зв'язку, т. зв. стільникових систем М2М, які можуть бути доступні як у вигляді зовнішнього покриття, так і всередині приміщень. Застосування стільникових рішень для під'єднання пристроїв М2М є привабливим через широке охоплення сфер, вбудовані механізми управління і забезпечення безпеки, а також ємну транспортну мережу. Однак при цьому безліч наявних систем М2М, як і раніше, застосовує стільникові технології GSM, GPRS і cdma2000 попередніх поколінь, які можуть бути істотно поліпшені за показниками своєї універсальності, вартості, складності та енергетичної ефективності. З урахуванням великої різноманітності додатків М2М та їхніх вимог (див. рисунок 2.1) комітетом 3GPP проводиться безперервне доопрацювання ка специфікацій системи LTE для більш ефективної підтримки різних М2М-сервісів.



Потребительские сценарии

Промышленные сценарии

Рисунок 2.1. – Споживчі та промислові застосування M2M-пристроїв

У міру того як обладнання LTE стає дедалі дешевшим і простішим у виготовленні, багато операторів послуг IoT розглядають стільникові системи M2M як найперспективніші, здебільшого завдяки ефективнішому використанню ними радіоресурсів і високій доступності мережевого покриття.

2.2 Сучасні радіотехнології для зв'язку M2M

Потреба в розробці нових технологій радіодоступу, які дозволили б безпосередньо врахувати особливості міжмашинної взаємодії, стала очевидною вже в середині 2000-х років. Низька споживана потужність, доступна вартість обладнання, широка область охоплення мережі, а також можливість підтримки великої кількості пристроїв з невисокою періодичністю надсилання даних стали основними вимогами до сучасних систем M2M.

Енергоефективні мережі дальнього радіусу дії. Порівняно недавно виник новий клас бездротових технологій для зв'язку M2M, який заведено називати енергоефективною мережею віддаленого радіусу дії, або LPWAN.

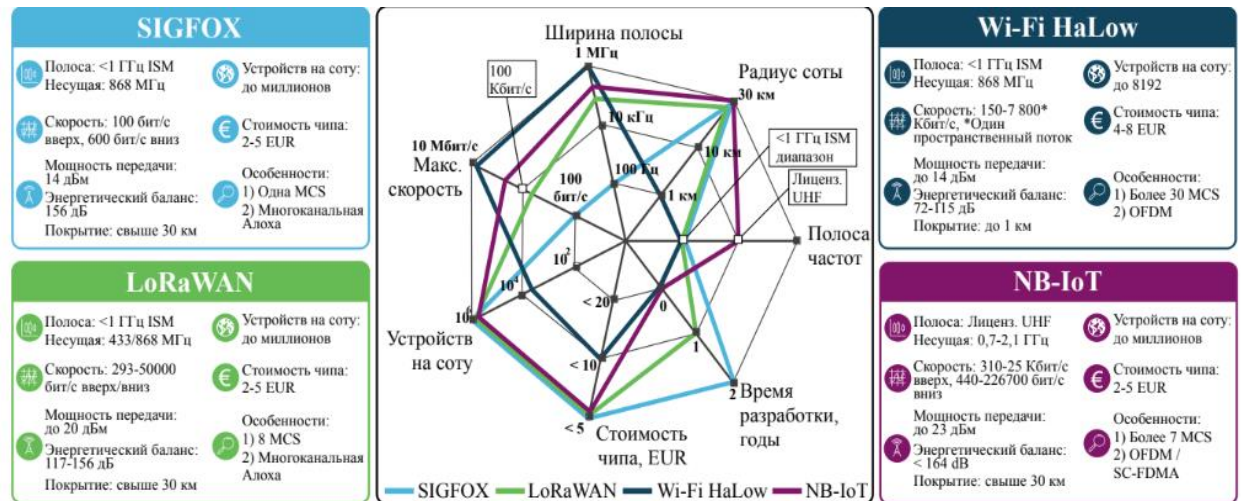


Рисунок 2.2 – Основні характеристики перспективних M2M-радіотехнологій

Стільникові системи M2M. Застосування стільникових технологій зв'язку, розроблених комітетом 3GPP, стає дедалі привабливішим для організації масового доступу пристроїв M2M у мережу завдяки їхній великій зоні обслуговування, порівняно низькій вартості розгортання, високому рівню інформаційної безпеки, роботі в контрольованому ліцензованому спектрі, а також відносній простоті та гнучкості управління. Однак мережі LTE від самого початку не були призначені для ефективної підтримки M2M-додатків, оскільки історично орієнтувалися на забезпечення послуг, які суттєво відрізняються від них як за характеристиками переданого трафіку, так і за вимогами до якості обслуговування. Таким чином, комітету 3GPP довелося значно поліпшити технологію LTE, щоб дозволити їй ефективно обслуговувати всілякі пристрої M2M.

Незважаючи на істотне збільшення кількості регіонів, у яких уже розгорнуто мережі LTE, безліч областей, як і раніше, використовує системи попередніх поколінь, засновані на технології GSM. У такому разі стільникові технології M2M змушені використовувати режим GPRS/EDGE для організації міжмашинної взаємодії. Оскільки очікується, що мережі GSM продовжать відігравати значну роль у розвитку екосистеми IoT, зважаючи на свою високу поширеність і низькі витрати, комітет 3GPP спробував адаптувати систему GSM для потреб застосунків IoT, щоб запропонувати ефективнішу альтернативу переданню M2M-трафіку за допомогою GPRS. Технологія, що виникла в результаті, відома як GSM із широким охопленням EC-GSM,

вводить поверх архітектури GSM набір як керівних каналів, так і каналів для передавання даних, а також містить просунуті механізми передавання з повтореннями і методи комбінування сигналів.

2.2.1 Аналіз початкового доступу в стільникових системах M2M

Характеристики роботи каналу випадкового доступу в LTE Організація з'єднання M2M-пристроїв із мережею

Для встановлення початкового з'єднання з мережею LTE пристрої M2M, такі як сенсори, лічильники та вимірювачі, можуть використовувати канал випадкового доступу RACH. Оскільки протокол функціонування цього каналу початково не враховував особливостей міжмашинної взаємодії, представляє інтерес дослідження параметрів його роботи у випадках, коли мережа доступу схильна до сплесків завантаження, пов'язаних з одночасним підключенням великої кількості M2M-пристроїв. При цьому конкуренція між безліччю терміналів за можливість передачі в режимі перевантаження робить такий аналіз нетривіальним. Також важливо порівняти між собою характеристики роботи каналу RACH в умовах перевантаження і в режимі нормальної роботи, коли значного сплеску завантаження не відбувається.

Далі розглядається типовий сценарій, що відповідає роботі інтелектуальної енергосистеми, в якому велика кількість пристроїв M2M встановлює з'єднання з мережею LTE протягом досить короткого інтервалу часу, наприклад, для надсилання тривожного повідомлення про зміну режиму електроживлення. Оскільки лічильники, сенсори та вимірювачі являють собою пристрої невеликого розміру, що живляться від батареї, облік їхнього енергетичного споживання вкрай важливий. У зв'язку з цим подальший виклад спрямовано на вивчення енергетичної ефективності та інших характеристик M2M-пристроїв при їх масовому підключенні до мережі LTE в умовах перевантаження каналу RACH. Це дослідження проводиться на підставі відповідних технічних документів комітету 3GPP, у яких задано параметри розглянутого тут сценарію.

Процедура випадкового доступу в системі LTE наведена на рисунку 2.3. Спочатку термінал посилає на БС LTE повідомлення Msg 1, зване преамбулою, використовуючи при цьому фізичний канал випадкового доступу PRACH.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		26



Рисунок 2.3 – Порядок процедуры випадкового доступу в системі LTE

При цьому конкретна преамбула для передавання вибирається випадковим чином із безлічі попередньо зарезервованих для цієї мети послідовностей. Слід зазначити, що кількість доступних для організації випадкового доступу послідовностей може бути меншою, ніж найбільше можливе їхнє число в 64 преамбули, залежно від налаштувань мережі доступу. Якщо два термінали або більше вибрали ідентичні преамбули, а потім відправили їх в один і той самий момент часу, на стороні БС може виникнути колізія. Преамбули також можуть не досягти БС при недостатньому значенні випромінюваної терміналом потужності.

Якщо преамбула була прийнята успішно, то БС LTE (звана також eNodeB) підтверджує цей факт шляхом надсилання у відповідному інтервалі повідомлення Msg 2, відомого як відповідь випадкового доступу RAR. Для цього терміналу висилається показчик на радіоресурси фізичного колективного каналу по лінії вниз PDSCH, які містять його повідомлення RAR.

Оскільки eNodeB має встановити, який із терміналів передав яку преамбулу, ініціюється так званий процес вирішення колізії. Після закінчення деякого часу обробки повідомлення RAR термінали, що беруть участь, передають повідомлення Msg 3, яке являє собою запит на встановлення контролю за радіоресурсами RRC. Його надсилання відбувається у фізичному колективному каналі за лінією вгору PUSCH з використанням радіоресурсів,

зазначених у повідомленні Msg 2. Процедура випадкового доступу завершується після успішного приймання від eNodeB повідомлення Msg 4, яке називається налаштуванням з'єднання RRC.

Коли схожі повідомлення Msg 3 відправляються більш ніж одним терміналом через попередню колізію їхніх повідомлень Msg 1 (преамбул), на боці eNodeB у найкращому разі може бути прийнято тільки одне з них, що призводить до відсилання відповідного повідомлення Msg 4 успішному терміналу. В іншому разі, якщо термінал не отримав очікуваного ним повідомлення Msg 4, він запускає процедуру випадкового доступу наново після деякого інтервалу відтермінування, який обирають випадково в межах певного вікна, що задається значенням індикатора відтермінування. Вузьке місце розглянутого протоколу, особливо за наявності безлічі терміналів, які потребують одночасного доступу, пов'язане зі зростанням імовірності виникнення колізії (див. рисунок 2.4(a)). Однак доставка повідомлення RAR всередині виділеного інтервалу очікування також може зазнати невдачі через обмежені радіоресурси каналу PDCCH. Ба більше, можливо, що повідомлення Msg 3 і Msg 4 з деякою ймовірністю спотворюються під час передавання.



Рисунок 2.4 – Приклад роботи процедури випадкового доступу в часі (а) і приклад енергоспоживання для терміналу номер 8 (б)

У результаті ціла низка негативних подій може стати причиною невдачі під час роботи процедури випадкового доступу і тим самим викликати додаткову затримку початкового входу в мережу. Очевидно, що ймовірність колізії зростає зі збільшенням кількості терміналів, які беруть участь у

встановленні з'єднання з БС, а також залежить від параметрів їхнього трафіку. В умовах перевантаження RACH кількість пристроїв, що конкурують за вихід у цей канал, може досягати 30 тисяч штук на одну стільницю, що відповідає оцінці, яку було використано в і в підсумку запозичено комітетом 3GPP у документі як рекомендовану максимальну щільність розміщення терміналів. Таке величезне число конкуруючих M2M-пристроїв може призвести до дуже високої ймовірності колізії і навіть спричинити вичерпання радіоресурсів мережі доступу. У відповідь на цю загрозу комітет 3GPP ініціював роботу з оцінки причин і наслідків подібного перевантаження, аналіз обставин якої наведено нижче.

Моделювання перевантажень у мережі доступу. У розглянутому типовому сценарії сота системи зв'язку 3GPP LTE містить M ідентичних M2M-пристроїв. Кожен із них обирає підкадр для початку процесу передавання лінією вгору згідно з рівномірним розподілом (тип трафіку 1) або бета-розподілом (тип трафіку 2) на інтервалі $[1; N]$. Передавання преамбули, що займає в точності один підкадр, може здійснюватися в кожному підкадрі з номером b , тобто в слотах $1, b+1, \dots, b-i+1, i \in \mathbb{Z}^+$. Після активації пристрій M2M вважається зайнятим до моменту завершення своєї процедури випадкового доступу. В іншому разі цей пристрій називається неактивним. У тих підкадрах, де відбувається обслуговування (тобто коли запланована можливість передавання PRACH), кожен зайнятий пристрій вибирає одну з s преамбул випадковим чином за рівномірним законом і відправляє її.

Відповідно до рекомендацій далі мається на увазі, що колізія настає, коли два або більше пристрої M2M обирають ідентичну преамбулу і передають її в одному і тому ж слоті. При цьому передбачається, що всі преамбули, які вступили в конфлікт, будуть втрачені на стороні БС після закінчення деякого часу оброблення, що на практиці відповідає найгіршій можливій ситуації. В іншому разі відправлення преамбули вважається успішним з імовірністю $1 - e^{-i}$ через поступове підвищення випромінюваної терміналом потужності, де i - кількість спроб передавання. Найбільше допустиме число спроб передачі однієї преамбули становить $L1$. Якщо її відправлення стає неуспішним через колізію або ж недостатній рівень потужності, відповідний M2M-пристрій рівномірним чином вибирає собі лічильник відстрочки з вікна W . Після K_0 підкадрів очікування починається так званий інтервал відповіді, що має розмір K (рис. 2.4).

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		29

У середині цього інтервалу відповіді eNodeB висилає терміналам повідомлення RAR у підкадрах, обраних рівномірно з діапазону $[1; K]$. Якщо пристрій M2M не отримує повідомлення RAR, то його поточну спробу надсилання преамбули оголошують неуспішною, і такий термінал ініціює процедуру відтермінування подальшої передачі. У разі успішного отримання M2M-пристроєм повідомлення RAR цей термінал починає формування повідомлення Msg 3 для відсилання протягом часу t_{pr} . Потім він надсилає повідомлення Msg 3 і очікує протягом часу $t_{tx}-1$ приймання повідомлення Msg 4 (див. рисунок 2.3). Своєю чергою, повідомлення Msg 3 і Msg 4 доставляються успішно з імовірностями π_3 і π_4 відповідно. Найбільше допустиме число спроб передачі повідомлення Msg 3 становить L_3 .

Аналіз введеної вище моделі системи зв'язку з можливістю виникнення колізій є непростим завданням, точне розв'язання якого ускладнене через "пам'ять" процесу. Це пов'язано з наявністю змінного часу відтермінування передачі, постійних інтервалів очікування i , особливо, значної кількості преамбул у процедурі випадкового доступу. Наприклад, у класичній системі випадкового множинного доступу з єдиною преамбулою затримку входу в мережу можна оцінити за допомогою підходу, який використовували раніше для аналізу алгоритму Алоха. Однак у досліджуваній тут системі цей популярний метод не дає точного наближення, тому далі застосовується розширення техніки з роботи. Для того щоб абстрагуватися від наявності "пам'яті" й одержати оцінку величини $E[\tau(1)]$ для розглянутої системи з колізіями, вводиться така еквівалентна модель.

- Припускається, що M2M-пристрої активізуються згідно з розподілом Бернуллі з імовірністю π . Тоді деякий термінал може ініціювати своє початкове з'єднання з мережею в кожному підкадрі з відповідною ймовірністю $\pi = 1/N$, де N - число підкадрів у вихідній системі.
- Далі опускається безпосередній розгляд інтервалу очікування i вікна відтермінування, яке замінюється припущенням про те, що в кожному підкадрі зайнятий пристрій може активізуватися з деякою ймовірністю $\pi_0 = 1/(K_0 + K_1 + K + \bar{w})$. Це міркування означає, що термінал активізується один раз протягом інтервалу $(K_1 + K_0 + K + \bar{w})$, якщо його вихідна спроба передавання виявилася неуспішною через колізію або ж недостатній рівень потужності.

- Імовірність успішного завершення процедури початкового доступу позначається як μ , тобто запит на вхід у мережу обслуговується в поточному підкадрі з деякою ймовірністю μ . В іншому разі термінал робить спробу отримання доступу до каналу в наступному доступному для нього підкадрі.
- Для простоти найбільше допустиме число спроб передачі однієї преамбули далі не розглядається.

У рамках введеної вище спрощувальної системи припущень можна отримати апроксимацію для середньої затримки входу в мережу. Для цього спочатку корисно розглянути ситуацію без виникнення колізій, для якої ймовірність отримання обслуговування ($\tilde{\mu}$) може бути виведена з виразу

$$E[\tilde{\tau}^{(1)}] = E[\tau^{(1)}] \quad \text{як}$$

$$\tilde{\mu} = \frac{1}{E[\tau^{(1)}]} = \frac{1}{c_1(K_1 + K_0 + K + \bar{w}) + \frac{b-K+1}{2} - \bar{w}}, \quad (2.2.1)$$

де $E[\tau^{(1)}]$ - середня тривалість інтервалу часу між моментом активації терміналу. зації термінала і моментом отримання ним повідомлення RAR;

$E[\tilde{\tau}^{(1)}]$ - середня тривалість відповідного інтервалу у введених еквівалентній системі. Наведений тут вираз буде використано надалі під час опису завантаження системи для M2M-пристроїв, які уникли колізій.

Далі досліджується ситуація з можливістю виникнення колізій, коли для деякого підкадру припускають, що пристрій i активізувався і вже вибрав свою преамбулу. Нехай система перебуває у стані j , який являє собою число зайнятих терміналів, що включають пристрій i . У стані j поведінку терміналу і можна описати простим марковським ланцюгом із двома станами, які відповідають тому, чи активізовано чи активований цей пристрій. Таким чином, Q_i може набувати значень 0 або 1. Матрицю перехідних імовірностей для розглянутого марковського ланцюга, що розглядається, легко записати у вигляді

$$\Pi = \begin{pmatrix} 1 - \pi & \pi \\ \mu_j & 1 - \mu_j \end{pmatrix}. \quad (2.2.2)$$

У результаті стаціонарний розподіл імовірностей $\omega = \{\omega_0, \omega_1\}$ виражається зі співвідношення $\Pi^T \omega = \omega$ і при цьому $\omega_0 + \omega_1 = 1$. Таким чином, середнє значення параметра Q_i може бути знайдено як

$$E[Q_i] = 1 \cdot \omega_1 = \frac{\pi}{\pi + \mu_j}, \quad (2.2.3)$$

де Q_i - величина, що показує, чи активізовано пристрій i , а μ_j - імовірність успішного передавання преамбули.

Використовуючи закон Літгла, можливо встановити середній час, проведений ний системою в стані j ,

$$E[\tau_j^{(1)}] = \frac{E[Q_i]}{\pi} = \frac{1}{\pi + \mu_j}. \quad (2.2.4)$$

У стані j для $j-1$ зайнятих терміналів імовірність отримати доступ до каналу і вибрати ту саму преамбулу, що й пристрій i , становить $\pi_0 \times 1/s$ (імовірність активізації пристрою, помножена на імовірність вибору ідентичної преамбули). Для неактивних $M - j$ терміналів відповідна ймовірність являє собою $\pi \times 1/s$ (ймовірність надходження нового запиту на доступ, помножена на ймовірність вибору ідентичної преамбули).

Отже, ймовірність уникнення колізії π_j^* для пристрою i в стані j може бути обчислена таким чином:

$$\pi_j^* = (1 - \pi_0 s^{-1})^{j-1} (1 - \pi s^{-1})^{M-j}. \quad (2.2.5)$$

Далі враховується механізм поступового підвищення випромінюваної терміналом потужності. Тоді ймовірність уникнення колізії під час спроби передачі з номером n задається у вигляді

$$\begin{aligned} Pr\{1\text{-й успех}\} &= \left(1 - \frac{1}{e}\right) \pi_j^*, \\ Pr\{2\text{-й успех}\} &= \left(1 - \left(1 - \frac{1}{e}\right) \pi_j^*\right) \left(1 - \frac{1}{e^2}\right) \pi_j^*, \\ &\dots \\ Pr\{n\text{-й успех}\} &= \left(1 - \frac{1}{e^n}\right) \pi_j^* \prod_{i=1}^{n-1} \left(1 - \pi_j^* \left(1 - \frac{1}{e^i}\right)\right), \\ &\dots \end{aligned}$$

Тут, як і раніше, не враховуються втрачені преамбули, а проводиться усереднення за успішними спробами передачі, коли шукані середні величини заміняють на умовні математичні очікування. Таким чином, середнє число спроб передачі виражається у вигляді

$$\bar{n}_j = \pi_j^* \sum_{n=1}^{L_1} n \left(1 - \frac{1}{e^n}\right) \prod_{i=1}^{n-1} \left(1 - \pi_j^* \left(1 - \frac{1}{e^i}\right)\right). \quad (2.2.6)$$

Беручи до уваги механізм поступового підвищення потужності, тепер можна встановити значення ймовірності успішної передачі μ_j пристроєм i в такому вигляді:

$$\mu_j = \left(\bar{n}_j \cdot (K_1 + K_0 + K + \bar{w}) + \frac{b - K + 1}{2} - \bar{w} \right)^{-1}, \quad (2.2.7)$$

де величина \bar{n}_j обчислюється за допомогою виразу, наведеного вище.

Отже, середній час обслуговування може бути отримано як

$$E[\tau^{(1)}] = \sum_{j=1}^M \theta_j E[\tau_j^{(1)}] = \sum_{j=1}^M \theta_j \frac{1}{\pi + \mu_j}, \quad (2.2.8)$$

де $\{\theta_j\}_{j=1}^M$ - стаціонарний розподіл імовірностей, а θ_j - стаціонарна імовірність перебування в стані j .

Для знаходження введеного вище стаціонарного розподілу ймовірностей слід розглянути всі переходи між станами системи і розв'язати відповідне матричне рівняння розмірності M . Для спрощення обчислень можна опустити складніші переходи між станами й усереднити θ_j з використанням біноміального розподілу в такий спосіб:

$$\theta_j = \binom{M-1}{j-1} \rho^{j-1} (1-\rho)^{M-j}, \quad (2.2.9)$$

де ρ - завантаження розглянутої системи, а $\binom{M-1}{j-1} = \frac{(M-1)!}{(j-1)!(M-j)!}$.

За такого способу розрахунку не враховують колізії між іншими терміналами і припускають, що їх зазнає тільки пристрій i , що розглядається. Тим самим можна знайти завантаження системи $\rho = \pi/\tilde{\mu}$ за допомогою виразу для ймовірності отримання обслуговування μ у разі без колізій. Підсумковий вираз, що дає змогу оцінити середній час обслуговування, являє собою

$$E[\tau^{(1)}] = \sum_{j=1}^M \frac{\binom{M-1}{j-1} \rho^{j-1} (1-\rho)^{M-j}}{\frac{1}{N} + (a_j(K_1 + K_0 + K + \bar{w}) + \frac{b-K+1}{2} - \bar{w})^{-1}}, \quad (2.2.10)$$

де π_j^* і a_j були визначені вище.

Запропонований підхід допускає цілу низку важливих практичних узагальнень і розширень. Зокрема, можна вивчити режим нормального функціонування мережі доступу, коли перевантажень не виникає. При цьому інтервал часу між надходженнями нових запитів на доступ розподілений за експоненціальним законом із заданим параметром $1/\lambda$. Також варто зазначити, що представлена математична модель може охарактеризувати роботу методів управління перевантаженням, наприклад таких, як попереднє відтермінування (pre-backoff), запропоноване в.

2.2.2 Аналіз продуктивності стільникових систем M2M

Підтримка великої кількості пристроїв. Як було зазначено вище, інтелектуальна енергосистема є важливим додатком M2M, що містить велику кількість сенсорів, лічильників і вимірювачів, які передають свої дані через мережеву інфраструктуру в автоматизованому режимі. Така поведінка є типовою для масових M2M-сервісів і тому стає опорним сценарієм, що демонструє ключові особливості міжмашинної взаємодії (рис. 2.5). Відповідно, пристрої M2M, що входять до складу інтелектуальної енергосистеми, можна поділити на такі класи залежно від пріоритету інформації, яку вони надсилають: високопріоритетні (тривожні повідомлення) і низькопріоритетні (дані вимірювань). З боку мережі зв'язку передавання тривожних повідомлень, потенційно пов'язане з підвищеними труднощами, оскільки вони часто виникають практично синхронно і при цьому мають суворі обмеження на допустиму затримку доступу.

На сьогоднішній день система LTE надає ряд виділених каналів для передачі даних від M2M-пристроїв по лінії вгору. Зокрема, канал PRACH використовується терміналами для початкового доступу, а також для того, щоб запросити необхідні радіоресурси, коли вони ще не були надані.

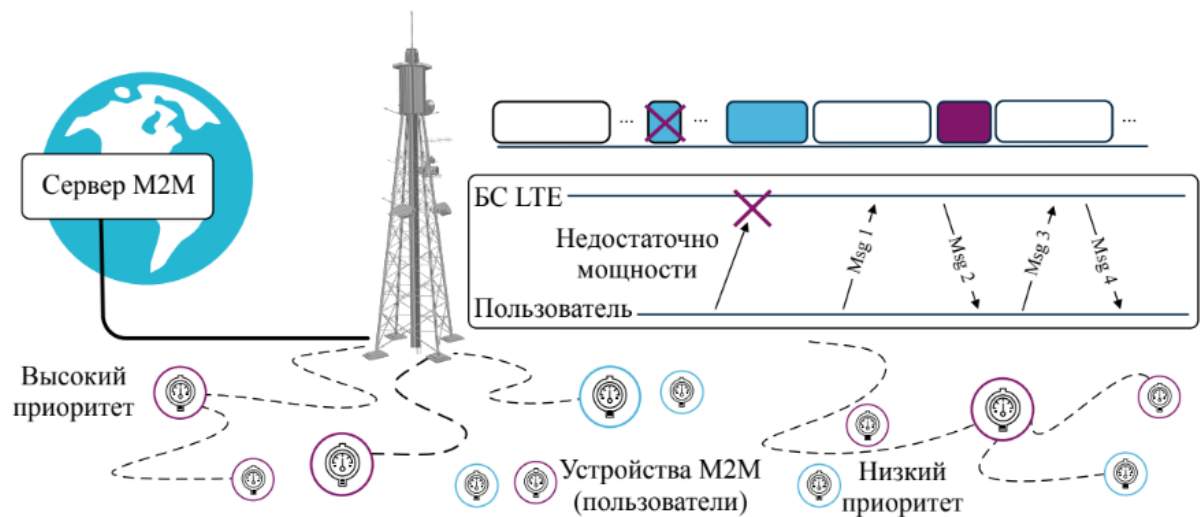


Рисунок 2.5 – Типовий сценарій M2M з великим числом пристроїв

Підключення до мережі безлічі пристроїв M2M протягом короткого інтервалу часу може спричинити сплеск завантаження каналу PRACH внаслідок його обмеженої ємності. Важливо нагадати, що роботу системи PRACH організовано у два етапи (рис. 2.5). На першому з них відбувається синхронізація відліку часу лінією вгору (пов'язана з обміном повідомленнями Msg 1 і Msg 2), коли під час передавання преамбул у режимі випадкового доступу використовується поступове підвищення потужності для її підстроювання під стан каналу зв'язку. На другому етапі застосовується повідомлення Msg 3 для відправки службової інформації по лінії вгору на БС (звану eNodeB або eNB), а також повідомлення Msg 4 для подальшого вирішення можливих колізій.

Для розуміння того, як велика кількість M2M-пристроїв впливає на характеристики процедури випадкового доступу в системі LTE, тут і далі наведені результати моделювання роботи каналу PRACH на рівні протоколу, які були попередньо відкалібровані з тестовими даними 3GPP. Мета цього дослідження - аналіз функціонування системи PRACH в умовах перевантаження, коли велика кількість пристроїв M2M, що мають різний пріоритет, встановлює своє з'єднання з мережею доступу (рисунок 2.6). У зв'язку з цим цікаво спостерігати, що в разі додавання приблизно 40% високопріоритетних терміналів, що відправляють тривожні повідомлення, до вихідної (типової) множини в 30000 низькопріоритетних терміналів, що

друкують дані своїх вимірювань. редагують дані своїх вимірювань, різко погіршується якість роботи PRACH щодо ймовірності успішного доступу.

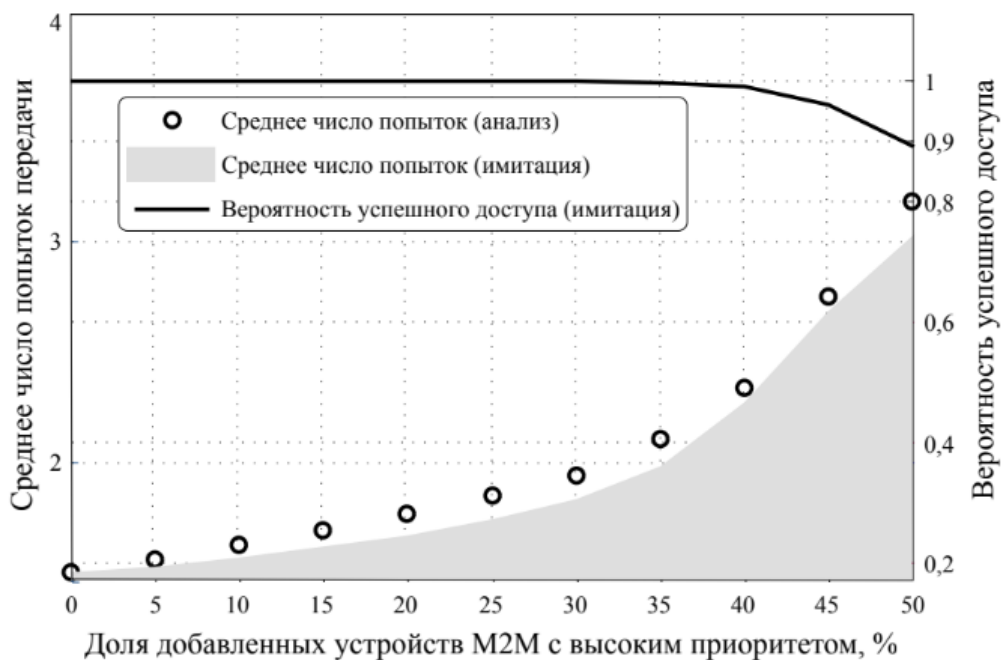


Рисунок 2.6 – Характеристики доступу M2M-пристроїв з різними пріоритетами

Цікаво також зауважити, що преамбули PRACH, які M2M-пристрої обирають випадково, можна розглядати як кодові "канали", що не перекриваються (рисунок 2.7). У разі, коли два або більше терміналів вибирають ідентичну преамбулу (канал), виникає ситуація, що нагадує типову колізію між пакетами даних. Подібна інтерпретація дає змогу вивчати процес змагання між пристроями M2M, спираючись на відомі результати, отримані для багатоканальних протоколів випадкового доступу. Як наслідок, можна отримати точну апроксимацію в заданому діапазоні параметрів роботи системи PRACH (рисунок 2.6), таких як кількість доступних преамбул (M) і терміналів-суперників (U), розмір вікна відтермінування тощо. Однак подібні рішення можна застосовувати лише в окремих випадках, а загалом кажучи, виникає необхідність проведення безпосереднього чисельного аналізу, який вдається лише для досить невеликого числа пристроїв/каналів через швидко зростаючу обчислювальну складність.

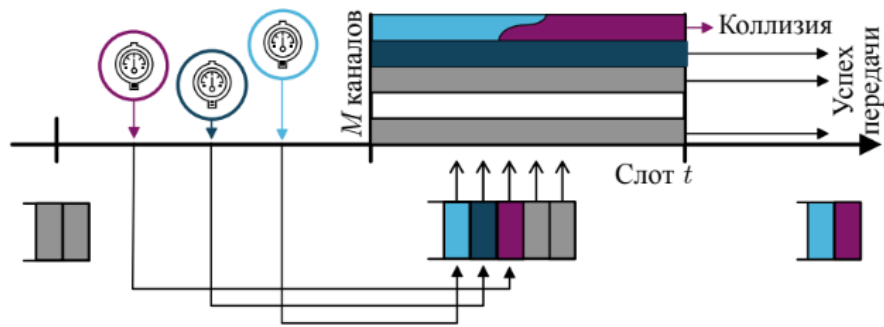


Рисунок 2.7 – Моделювання багатоканального протоколу випадкового доступу

Як альтернативу для аналізу подібних систем M2M можна застосовувати методи дифузійної апроксимації, які дають змогу охарактеризувати області стабільності відповідної багатоканальної мережі випадкового множинного доступу, а також використовувати підходи з кооперацією і рандомізацією. Як цільовий сценарій корисно розглянути застосунок M2M, пов'язаний із промисловою автоматизацією (рисунок 2.8), що вимагає певних гарантій щодо затримки доступу та надійності доставки даних (наприклад, під час надсилання пріоритетних і/або критичних повідомлень).

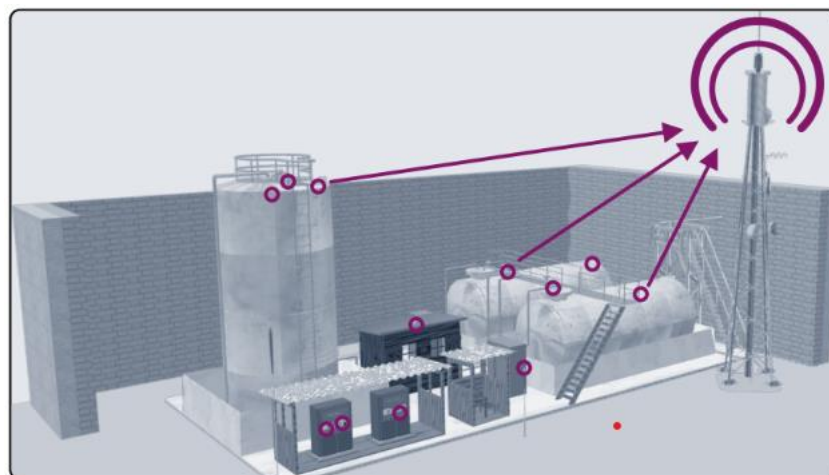


Рисунок 2.8 – Приклад розміщення M2M-системи для автоматизації виробництва

У цьому контексті рисунок 2.9 демонструє затримки передавання, що спостерігаються в системі PRACH і отримані за допомогою аналітичного моделювання. Такі результати дають змогу проводити оптимізацію процедури

випадкового доступу шляхом вибору відповідного значення ймовірності повторного передавання повідомлення Msg 1 для заданого (найбільшого) числа M2M-пристроїв і безлічі використовуваних ними преамбул (каналів).

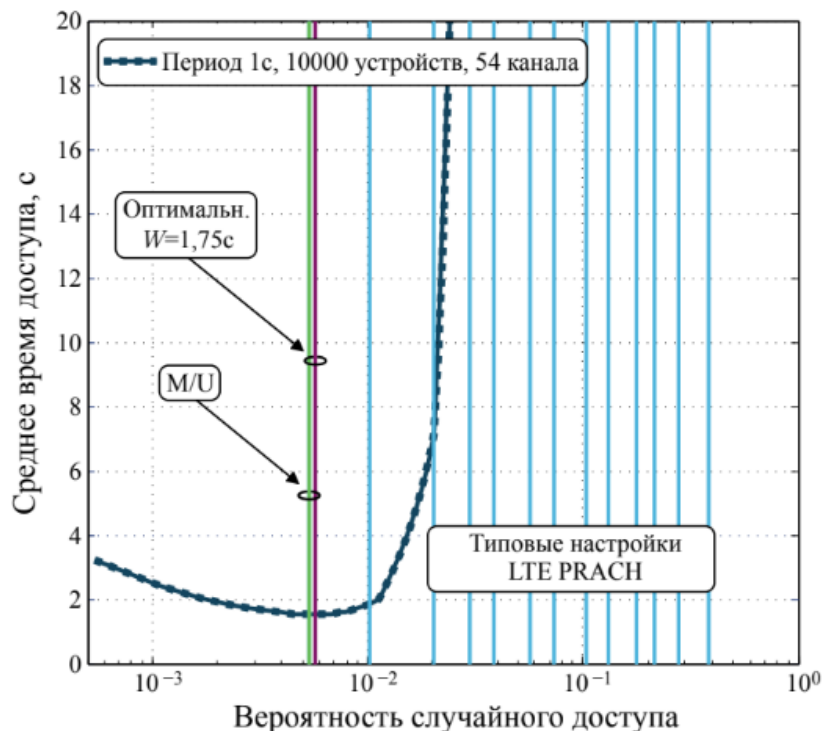


Рисунок 2.9 – Затримка доступу в стільниковій системі з великою кількістю пристроїв M2M

Більш докладно нарисунку порівнюється оптимізована затримка доступу з аналогічними даними, отриманими для типових значень індикатора відстрочки PRACH, заданих специфікаціями 3GPP. Розглянутий підхід дозволяє БС LTE підлаштувати параметри функціонування процедури PRACH за наявності загальносистемної інформації про всі підключені пристрої M2M. Однак у випадках, коли подібна інформація з якої-небудь причини недоступна, конкуруючі термінали можуть використовувати простіші (евристичні) методи контролю доступу в мережу, як-от вибір ймовірності повторного передавання преамбули у вигляді відношення M до U. Це часто дає змогу досягти продуктивності, близької до оптимальної. Запропоновані тут результати дадуть змогу проектувати методи ефективного керування характеристиками роботи стільникової системи M2M, наприклад, затримкою доступу в мережу LTE, що виявляється вкрай важливим у

підтримці додатків Індустріального Інтернету з жорсткими вимогами щодо доставки даних.

Енергетична ефективність і передача даних малого обсягу. У тісному взаємозв'язку із затримкою і ймовірністю успішного доступу перебуває енергетична ефективність з'єднань M2M, яку необхідно враховувати, тому що M2M-пристрої зазвичай мають малі габарити і живляться від батареї.

Наведене тут дослідження розглядає сценарій, коли деякий застосунок IoT змушує велику кількість терміналів виконувати певну дію практично одночасно, наприклад, передавати вимірювання інтелектуальних лічильників. Те ж саме відбувається, коли виникає непередбачувана, надзвичайна або критична подія, наприклад, масове відключення електрики або її відновлення, відмова мережевої інфраструктури тощо. У цих випадках безліч пристроїв M2M підключаються до мережі доступу протягом короткого інтервалу часу, використовуючи в цих цілях процедуру випадкового доступу PRACH для встановлення синхронізації відліку часу по лінії вгору як під час початкового доступу, так і під час безпосереднього передання своїх даних.

На рисунку 2.10 показано характеристики початкового входу в мережу для 30 тисяч пристроїв M2M щодо споживаної ними потужності, ймовірності колізії та ймовірності успішного доступу для різних значень індикатора відстрочки PRACH.

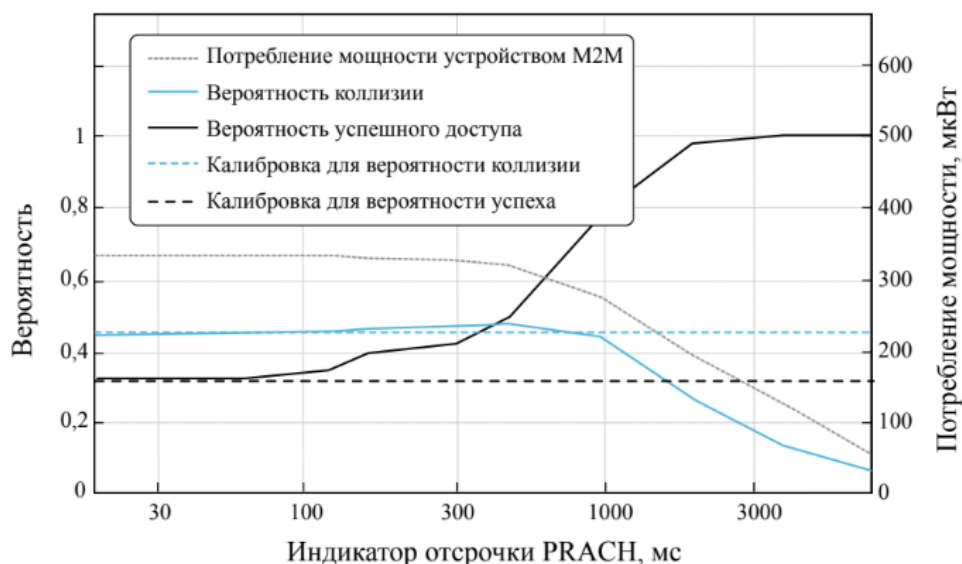


Рисунок 2.10 – Характеристики початкового входу в мережу для стільникової системи M2M

Наведені дані отримано для типового процесу активізації терміналів згідно з бета-розподілом (тип трафіку 2), як рекомендовано відповідною документацією 3GPP. Середовище імітаційного моделювання, що використовується, враховує основні рівні потужності для кожного передавального терміналу (неактивну, простою, приймання та передавання) на всіх етапах роботи процедури PRACH (рисунок 2.11). Результати показують ефективність альтернативних методів управління перевантаженням (див. рисунок 2.10), тому можна зробити висновок про те, що комбінація збільшеного інтервалу відтермінування і попереднього відтермінування успішно справляється з перевантаженням, що настає внаслідок сплеску активності пристроїв M2M.

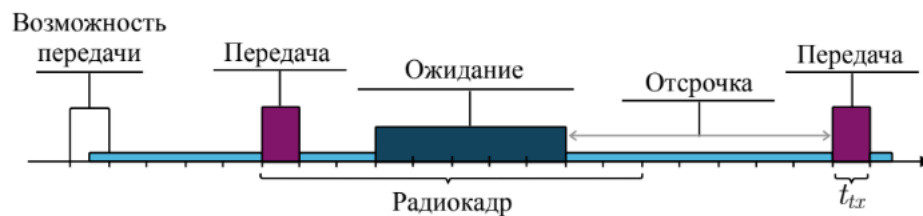


Рисунок 2.11 – Рівні споживаної пристроєм M2M потужності, яку споживає пристрій

Далі в наведеному тут аналізі вивчаються аспекти, пов'язані з енергетичним споживанням M2M-пристроїв. Важливо зазначити, що відносно коротка тривалість циклу опитування (paging cycles) у системі LTE може бути вкрай неефективною для пристроїв M2M, особливо в разі значних інтервалів між надходженнями даних з урахуванням порівняльної стійкості до затримки послуг M2M. Як наслідок, збільшення тривалості циклу опитування в режимі простою дає змогу таким терміналам перебувати в режимі очікування триваліший час і тим самим економити ресурс своєї батареї. Для визначення споживаної потужності потрібно побудувати адекватну модель, яка могла б урахувати типові параметри трафіку M2M-пристроїв (рисунок 2.12). Наведені в роботі дані свідчать, що збільшення максимальної тривалості циклу опитування та періоду непостійного приймання DRX дає змогу досягти істотного приросту енергетичної ефективності терміналів (рисунок 2.13).

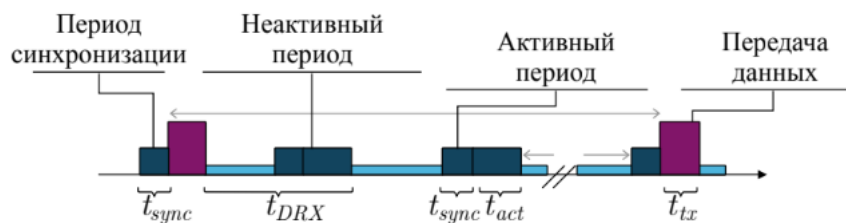


Рисунок 2.12 – Моделювання споживаної пристроєм M2M потужності, яку споживає пристрій

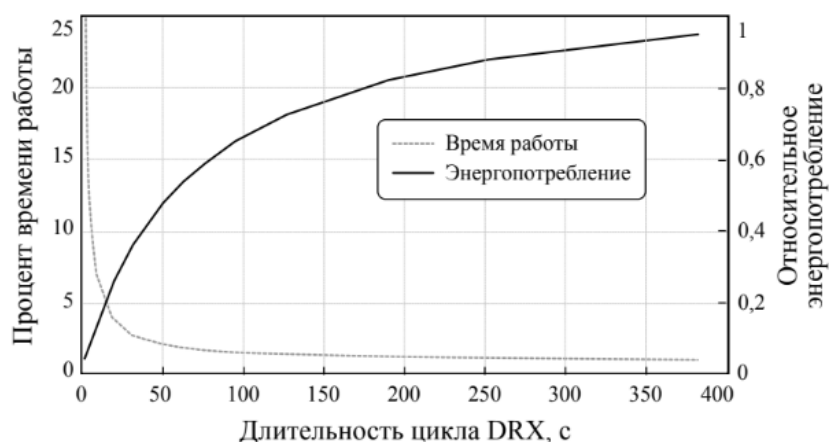


Рисунок 2.13 – Підвищення енергетичної ефективності M2M-пристроїв

В умовах, коли пристрої M2M можуть переносити деяке підвищення затримки, можна використовувати прямі з'єднання D2D для подальшого зниження споживаної ними потужності. Наприклад, один з M2M-пристроїв міг би агрегувати і потім пересилати в мережу доступу дані від сусідніх терміналів, які спостерігають низьку якість інфраструктурного з'єднання. Подібні механізми ретрансляції каналами D2D дають змогу зменшувати кількість повторних передач і тим самим знижувати енергетичне споживання терміналів, особливо тих, що розміщуються на краю стільники і передають дані малого обсягу. В іншому випадку, якщо введення додаткової затримки є неприпустимим (як, наприклад, у додатках промислової автоматизації), додаткового зниження затримки доступу можна досягти завдяки скороченню процедури PRACH, як показано на рисунку 2.11.

Крім того, представляє інтерес розробка схем, які дають змогу M2M-пристроєм надсилати дані малого обсягу без значних накладних витрат, характерних для технології LTE.

Рисунок 2.14 відтворює поточну структуру кадру LTE (для смуги пропускання в 5 МГц) у вигляді прямокутної сітки ресурсних блоків.

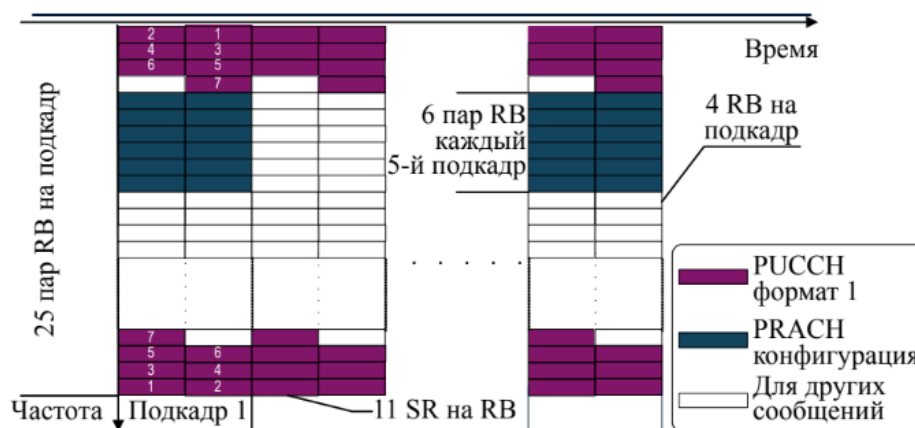


Рисунок 2.14 – Типова структура кадру LTE для стільникової системи M2M

Їхні групи складені з різних каналів, передбачених системою, як канал PRACH з радіоресурсами, що періодично виділяються, і фізичний канал управління по лінії вгору PUCCH з безперервно доступними радіоресурсами. Оскільки ємності обох каналів, PUCCH і PRACH, можуть виявитися недостатніми під час обслуговування великої кількості терміналів, то для передавання додаткового трафіку M2M можна використовувати частку радіоресурсів фізичного колективного каналу лінією вгору PUSCH, який застосовується для обміну інформацією між людьми H2H. Відповідний протокол дає змогу скоротити кількість керівних повідомлень, необхідних для вирішення колізій. Його застосування призводить до більш ефективного використання радіоресурсів, зменшення затримки доступу, а також значного зниження споживаної пристроями M2M енергії (рисунок 2.15).

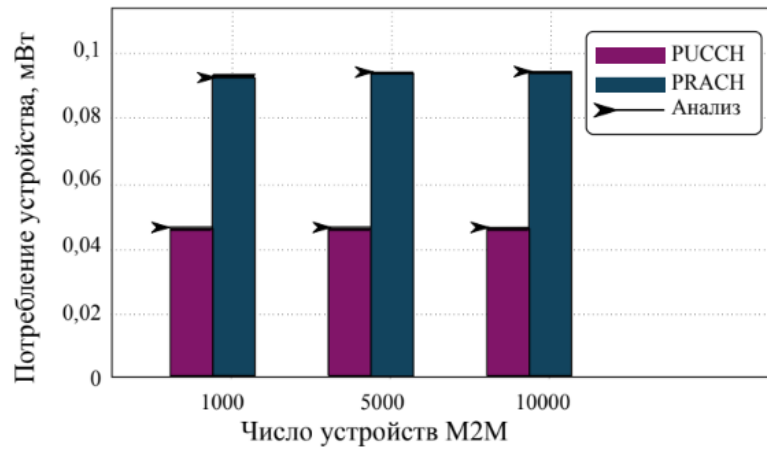


Рисунок 2.15 – Характеристики передавання даних малого обсягу

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИБРОЮ

3.1 Архітектура мережі 5G

5G (п'яте покоління) - покоління мобільного зв'язку, що базується на телекомунікаційних стандартах, побудованих на базі існуючої технології 4G-LTE.

Ключовими принципами архітектури мережі 5G є наступні:

- Розподіл вузлів мережі на елементи, що забезпечують роботу протоколів User Plane (UP) та елементи, що забезпечують роботу протоколів Control Plane (CP), що значно підвищує масштабованість та гнучкість розгортання (дозволяє централізовано та децентралізовано розміщувати окремі вузли мережі).
- Нарізка мережі (Network Slicing) розділяє елементи мережі на мережеві рівні на основі послуг, що надаються певним групам кінцевих користувачів.
- Реалізація мережевих елементів як віртуальних мережевих функцій (VNF).
- Підтримує одночасний доступ до централізованих і локальних сервісів, забезпечуючи реалізацію концепцій хмарних (туманних) і периферійних обчислень.
- Визначено конвергентну архітектуру, яка об'єднує різні типи мереж доступу (AN) - 3GPP (New Radio - NR) та не-3GPP (WiFi та ін.) з єдиною опорною мережею (CN).
- Підтримує єдині алгоритми та процедури аутентифікації (незалежно від типу мережі доступу).
- Підтримка бездержавних мережевих функцій, де обчислювальний ресурс відокремлений від ресурсу зберігання.
- Підтримка роумінгу з маршрутизацією трафіку як через домашню маршрутизовану мережу, так і через локальне відключення в хост-мережі (VPLMN).

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат		44

В архітектурі 5G взаємодія між функціями мережі представлена двома способами:

- сервіс-орієнтовані, де деякі мережеві функції (наприклад, AMF) надають доступ до своїх послуг іншим авторизованим мережевим функціям;
- інтерфейсний, який показує, яка взаємодія існує між послугами мережевих функцій, описаних як взаємодія "точка-точка" (наприклад, інтерфейс N11) між будь-якими двома мережевими функціями (наприклад, AMF та SMF).

Мережеві функції в площині управління 5G повинні використовувати для своєї взаємодії тільки сервіс-орієнтовані інтерфейси.

Розглянемо архітектуру мережі 5G з погляду сервіс-орієнтованої взаємодії різних мережевих функцій на площині управління. Архітектура мережі 5G містить у собі такі основні програмні модулі та мережеві функції (NF):

- модуль управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function);
- блок управління сесіями (SMF - Session Management Function);
- модуль передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function);
- модуль управління даними користувачів (UDM - Unified Data Management);
- уніфікована база даних для зберігання різних абонентських даних (UDR - Unified Data Repository);
- модуль вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function);
- модуль управління політиками (PCF - Policy Control Function);
- модуль виклику прикладних функцій (AF - Application Function);
- функція підтримки обміну короткими текстовими повідомленнями за допомогою протоколу NAS (SMSF - SMS Function);

Кожен з перерахованих елементів архітектури мережі 5G виконує певні функції відповідно до свого призначення.

Модуль управління доступом і мобільності (AMF) забезпечує:

- організацію інтерфейсів площини управління;

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		45

- організацію обміном сигналізації, шифрування та захист цілісності сигналізації;
- управління реєстрацією користувачького терміналу (UE) в мережі та контроль можливих станів;
- управління з'єднанням користувачького терміналу (UE) з мережею та контроль можливих станів з'єднання;
- управління доступністю терміналу користувача (UE) у мережі;
- управління мобільністю терміналу користувача (UE) в мережі;
- передавання коротких повідомлень між обладнанням користувача (UE) і SMF;
- управління службами визначення місця розташування терміналу;
- передавання повідомлень між UE і функцією керування місцем розташування.

Блок управління сесіями зв'язку (SMF) забезпечує:

- управління сесіями зв'язку, тобто створення, зміну і звільнення сесії, включно з підтримкою тунелю між мережею доступу (AN) і UPF;
- розподіл і управління IP-адресами терміналів користувачів (UE);
- вибір використовуваного шлюзу UPF;
- організацію взаємодії з функцією управління політиками (PCF);
- управління роботою шлюзу UPF, зокрема управління застосуванням політик якості QoS;
- динамічне налаштування терміналів користувача за допомогою протоколів DHCPv4 (сервер і клієнт) і DHCPv6 (сервер і клієнт);
- проксування ARP (Address Resolution Protocol) запитів, як зазначено в IETF RFC 1027 та/або в IETF RFC 4861 для Ethernet-фреймів (SMF відповідає на ARP-запити, надаючи MAC-адресу, відповідну до IP-адреси, надісланої у запиті);
- контроль збору тарифікаційних даних і організація інтерфейсу із системою білінгу;
- безшовність (не розривність) надання послуг SSC (Session and Service Continuity);
- взаємодія з гостьовими мережами в рамках процедур роумінгу.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат		46

Модуль передачі даних користувачів (UPF) забезпечує:

- інтерфейс підключення до зовнішніх мереж передачі даних, у т.ч. до глобальної мережі Інтернет;
- маршрутизацію і передачу пакетів даних користувачів;
- буферизацію пакетів та ініціацію повідомлення терміналів користувачів (UE) про наявність даних для передавання лінією вниз (DL);
- маркування пакетів даних відповідно до необхідних параметрів QoS;
- діагностику пакетів інформації (наприклад, виявлення додатків на основі шаблону потоку даних) і застосування мережевих політик відповідно до цілевказівок, сформованих PCF;
- надання звітів про використання трафіку;
- проксування ARP (Address Resolution Protocol) запитів, як зазначено в IETF RFC 1027 та/або в IETF RFC 4861 для Ethernet фреймів.

Також UPF є якірною точкою для підтримки мобільності як усередині однієї, так і між різними технологіями радіодоступу (якщо може бути застосовано).

Модуль управління даними користувачів (UDM) забезпечує:

- управління даними профілів користувачів, включно зі зберіганням і модифікацією переліку доступних користувачам послуг і відповідних їм параметрів;
- управління ідентифікаторами користувачів (SUPI);
- генерацію облікових даних автентифікації одержуваних від сервера автентифікації користувача (AUSF);
- авторизацію доступу на основі даних профілю користувача (наприклад, обмеження роумінгу);
- управління реєстрацією користувача, що обслуговується AMF;
- підтримку безперервності обслуговування/сеансу зв'язку, тобто зберігання призначених SMF/DNN для поточних сеансів зв'язку;
- управління доставкою SMS-повідомлень.

При цьому кілька різних UDM можуть обслуговувати одного й того самого користувача для різних транзакцій.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат		47

Модуль вибору мережевого шару (NSSF) забезпечує:

- вибір необхідного набору мережевих шарів (Network Slices) у процесі реєстрації користувачького терміналу в мережі (залежно від типу послуги, що надається, типу устаткування абонентського терміналу, його місця розташування тощо);
- визначення модулів AMF, які будуть використовуватися для обслуговування користувачького терміналу або, на основі конфігурації, визначення списку модулів AMF, шляхом запиту в NRF;
- зберігання інформації про доступні мережеві шари (NSSAI - Network Slice Selection Assistance Information).

Функція управління політиками (PCF - Policy Control Function)

Функція управління політиками (PCF) у реальному часі формує і призначає призначеним для користувача терміналам ті чи інші політики, включно з параметрами якості обслуговування (QoS) і правилами тарифкації. Так, для передачі того чи іншого типу трафіку можуть динамічно створюватися віртуальні канали з різними характеристиками. При цьому до уваги можуть братися вимоги сервісу, запитуваного абонентом, його профіль, місце розташування, рівень завантаження мережі, обсяг спожитого трафіку тощо.

Модуль виклику прикладної функції (AF - Application Function)

Модуль виклику прикладної функції (AF) мережі 5G взаємодіє з опорною мережею і, як приклад, може вирішувати такі завдання:

- управління маршрутизацією трафіку;
- надання доступу до модуля забезпечення взаємодії з елементів мережі (NEF);
- взаємодія з функцією управління політиками.

Залежно від конкретного впровадження на мережі оператора зв'язку, окремим зовнішнім платформам і додаткам може бути дозволено прямий (безпосередній) доступ до мережевих функцій. Інші системи будуть здійснювати доступ до мережевих функцій 5GC через прикладні програмні інтерфейси API, що надаються модулем забезпечення взаємодії мережевих функцій.

Відповідно до архітектури SDN для мереж 5G визначено поділ шлюзу пакетного передавання даних на дві складові - площину управління (SMF) і

									Лист
									48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат					

площину користувацького трафіку (UPF) - control and user planes separation (CUPS). При цьому заради об'єктивності варто зазначити, що концепцію CUPS релізом 14 3GPP визначено і для мереж 4G-LTE, де передбачено поділ SGW на C-SGW (control plane) і U-SGW (user plane), а PGW відповідно - на C-PGW і U-PGW.

Спрощення архітектури UPF порівняно з PGW мережі 4G-LTE дає змогу знизити як вартість розробки та виробництва самих вузлів, так і витрати на їхню експлуатацію. Зрештою, це відкриває шлях до "прикордонних обчислень" (edge computing) за рахунок можливості встановлювати на мережі велику кількість шлюзів, розміщуючи їх у безпосередній близькості до мережі доступу. Однак такий підхід створює проблему мобільності, оскільки переміщення призначеного для користувача терміналу з активною сесією передавання даних супроводжуватиметься частою зміною UPF. 3GPP вирішує цю проблему шляхом введення нової функціональності - безшовності абонентських сесій і послуг - SSC (Session and Service Continuity).

Network Slicing передбачає поділ фізичної архітектури 5G на безліч віртуальних мереж або шарів. Кожен мережевий шар охоплює функції рівня управління, функції рівня користувацького трафіку і мережу радіодоступу (5G-NR, або non-3GPP). Базуючись на архітектурі NFV/SDN, кожен шар має свої характеристики і націлений на вирішення того чи іншого бізнес-завдання. 3GPP визначає три стандартних мережевих шари:

- надширокосмуговий доступ (eMBB, Enhanced Mobile Broadband) - користувачі глобальної мережі Інтернет, камери відеоспостереження,
- ультра-надійність і низькі затримки (URLLC, Ultra Reliable Low Latency Communication) - транспорт без водія, доповнена і віртуальна реальність;
- інтернет речей (IoT, Internet of Things) - мільйони пристроїв, що передають малі обсяги даних від випадку до випадку.

Кожен оператор може визначати додаткові мережеві шари, наприклад, виділений мережевий шар для критичних комунікацій, для внутрішньокорпоративного зв'язку тощо.

Конкретний користувацький термінал (UE) може обслуговуватися одночасно одним або кількома мережевими шарами (максимум - 8-ма). При цьому модуль AMF є загальним для всіх шарів, а ось інші елементи (зокрема

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		49

SMF, UPF) можуть відрізнятись. Також різні шари можуть містити різні мережі радіодоступу, або єдину мережу, але з відмінними характеристиками. І, як один із бізнес-кейсів, мережеві шари можуть мати різні параметри безпеки.

Під час реєстрації в мережі в рамках процедури встановлення RRC-з'єднання (і далі - у повідомленні NAS) користувацький термінал (UE) передає список запитуваних мережевих шарів (S-NSSAI - Single Network Slice Selection Assistance Information). На першому кроці, на підставі отриманих від UE даних, переліку мережевих шарів, що містяться в UDM-профіль користувача, та місцезнаходження абонента, здійснюється вибір елемента AMF, який може забезпечити необхідний набір послуг.

На другому кроці призначається модуль управління сесіями (SMF) і далі - шлюз передачі користувацького трафіку (UPF). Призначення SMF/UPF може відбуватися відповідно до статичних налаштувань, або - динамічно (через репозиторій мережевих функцій - NRF).

Цей спосіб організації архітектури мережі 5G дає змогу виконувати Рекомендації 3GPP TR 38.913, які визначають такі ключові показники мереж 5G:

- пікова швидкість передачі даних на лінії вниз (Downlink) 20 Гбіт/с (спектральна ефективність 30 біт/с/Гц);
- пікова швидкість передачі даних на лінії вгору (Uplink) 10 Гбіт/с (спектральна ефективність 15 біт/с/Гц);
- мінімальна затримка в підсистемі радіодоступу для сервісів URLLC - 0,5 мс, для сервісів eMBB - 4 мс;
- максимальна щільність підключених до мережі в міських умовах пристроїв зі світу "Інтернету речей" - 1 000 000 пристроїв/км²;
- автономна робота пристроїв зі світу "Інтернету речей" без підзарядки акумулятора протягом 10 років;
- підтримка мобільності за максимальної швидкості пересування об'єктів 500 км/год.

Ці показники є часом несумісними і навіть взаємовиключними. Тому різним пристроям у різні моменти часу будуть доступні тільки певні сервіси з певними показниками (у рамках концепції Network Slicing).

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		50

3.2 Структурна схема системи мережевого доступу на базі технологій 5G

Базові станції gNB формують мобільну мережу 5G (NR Radio Access). Вони містять базовий блок (або BBU - модуль базової смуги), який перебуває на землі, та декілька радіомодулів (або RRU), які розташовуються поблизу антен мобільного зв'язку. BBU і RRU з'єднані оптичним кабелем, завдяки якому реалізується CPRI. Радіомодуль виконує цифро-аналогове/аналого-цифрове перетворення, створення радіочастотного тракту, посилення та фільтрацію сигналу.

Стек мережевих протоколів радіодоступу

Будови стеків мережевих протоколів радіодоступу користувальницької площини та площини управління показані на рисунку 3.1.

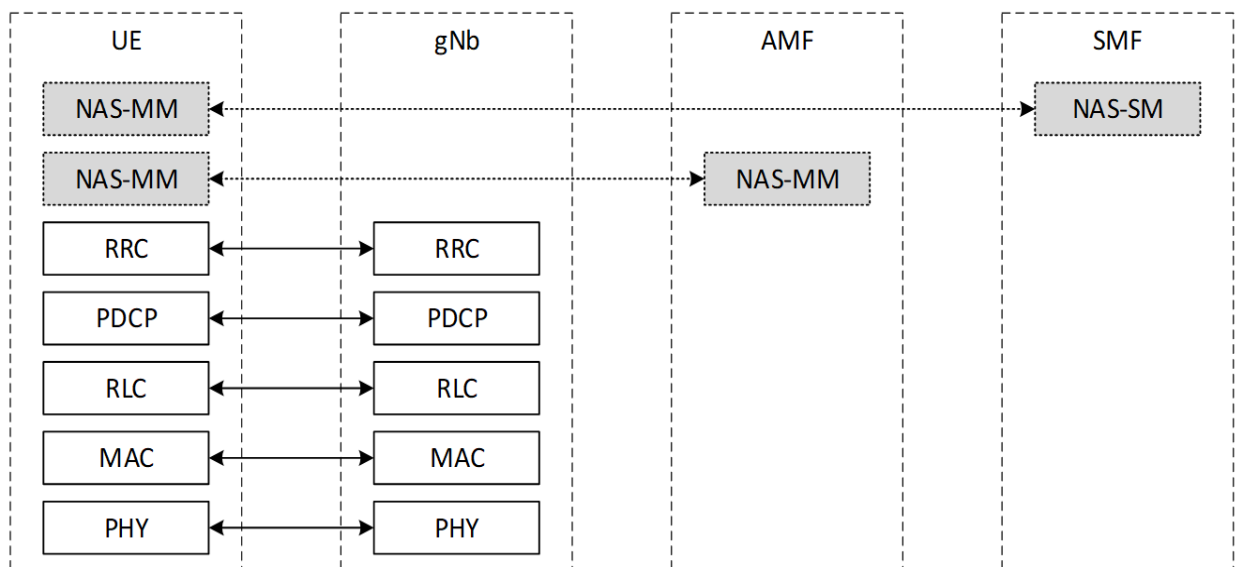


Рисунок 3.1 – Будови стеків мережевих протоколів радіодоступу

Структурну схему системи мережевого доступу на базі технології 5G наведено на рисунку 3.2. Опис функцій, що виконують окремі елементи структурної схеми, перелічені у таблиці 3.1.

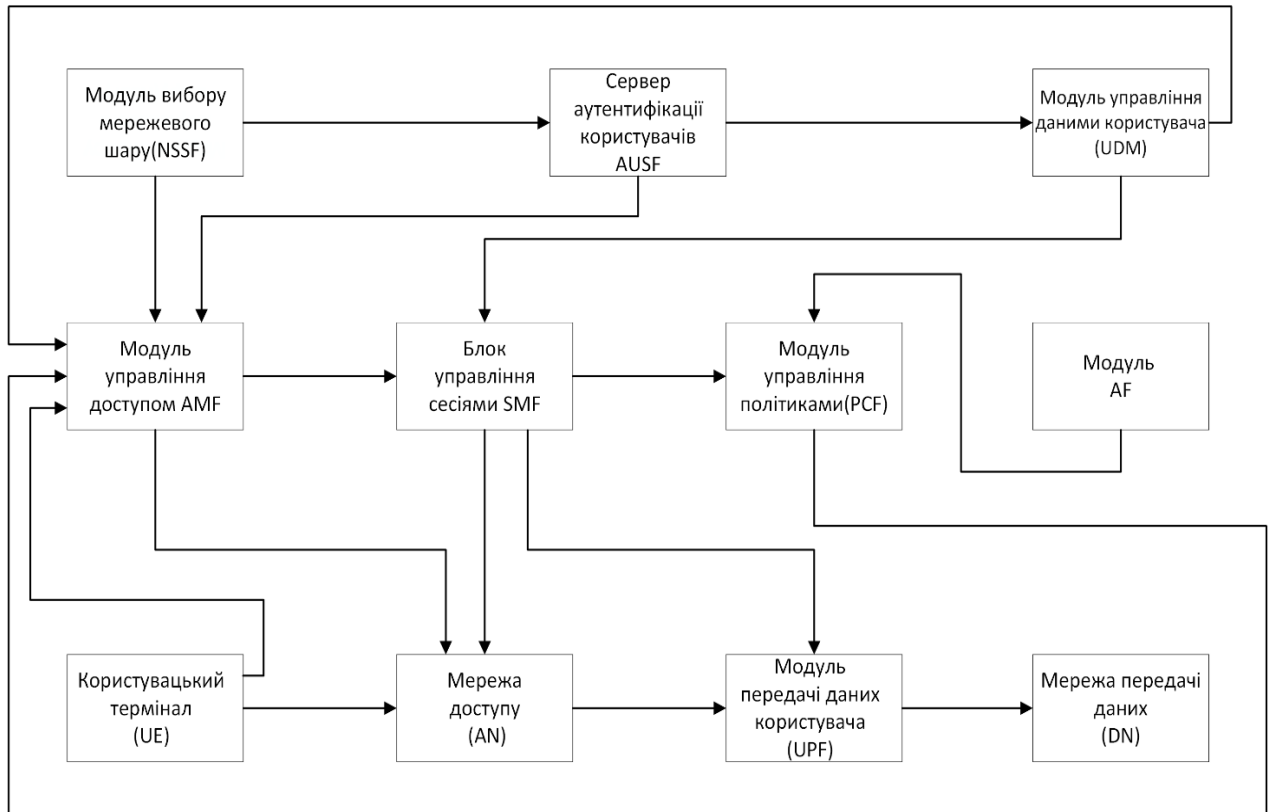


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи мережевого доступу на базі технології 5G

Основні функції, які реалізовані на різних рівнях:

1. RRC (Radio Resource Control) - протокол управління радіоресурсами.

Загальні функції, реалізовані на рівні RRC:

- передача системної інформації,
- управління підключенням RRC,
- управління механізмами мобільності між окремими RAT,
- налаштування вимірювання та звітності,
- передача сигнального трафіку, не пов'язаного з радіозв'язком (NAS - Non Access Stratum).

Характерні зміни порівняно з рівнем RRC LTE S1. Інтерфейс пов'язаний із введенням нового стану RRC (RRC INACTIVE), який призначений для мінімізації обміну сигналами для певних класів постійно підключених пристроїв, а також із реалізацією механізму передачі частини системної інформації (SIB3. .n) не в ефірі, а у виділених каналах для певних пристроїв.

Таблиця 3.1 - Функції, які виконуються на фізичному рівні

Функції на фізичному рівні		Відносимо до Low-PHY		
		7-1	7-2	7-3
Dowlink – DL	• обчислення CRC,			
	• канальне кодування(channel coding),			
	• зміна та вирівнювання швидкості(rate matching)			X
	• скремблювання		X	X
	• модуляція		X	X
	• розподіл за потоками(layers mapping)		X	X
	• передкодування	X	X	X
	• розподіл за ресурсними елементами(RE mapping)	X	X	X
	• зворонє швидке перетворення Фур'є(IFFT)	X	X	X
	• вставка циклічного префікса(CP)	X	X	X
Uplink – UP	• видалення циклічного префіксу(CP)	X	X	X
	• швидке перетворення Фур'є(FFT)	X	X	X
	• об'єднання даних з ресурсних елементів(RE de-mapping)	X	X	X
	• об'єднання даних з декількох потоків(layers de-mapping)		X	X
	• де-модуляція		X	X
	• де-скремблювання			X
	• відновлення суміжних даних (rate de-matching)			
	• канальне декодування(channel de-coding)			

2. PDCP (протокол конвергенції пакетних даних)

Основні функції, реалізовані на рівні PDCP:

- передача даних користувача та даних площини управління,
- нумерація пакетів даних,
- шифрування та перевірка цілісності даних;

- перевпорядкувати пакети даних, видалити дублікати,
- повторити пакети даних для підвищення надійності передачі
- маршрутизація маршруту «розділеного» віртуального каналу (розділений носій) у режимі подвійного підключення (лише для пакетів даних користувача),
- стиснення заголовків протоколів вищого рівня за методом ROHC (Надійне стиснення заголовків - лише для пакетів даних користувача),
- відкидання пакетів даних після discardTimer закінчення.

3. RLC (Управління радіозв'язком)

RLC може працювати в одному з трьох режимів:

- прозорий режим (прозорий режим, TM);
- передача без підтвердження (непідтверджений режим, UM) ;
- передача з підтвердженням (режим підтвердження, AM).

Основні функції, реалізовані на рівні RLC:

- передача пакетів, сформованих вищим рівнем (PDCP PDU); {{1}} - нумерація пакетів даних незалежно від рівня PDCP,
- сегментація та десегментація пакетів даних (лише режими AM та UM),
- виявлення та виправлення помилок при передачі RLC PDU за допомогою методу автоматичної повторної передачі - ARQ (лише режим AM),
- виявлення повторюваного PDU RLC (лише режим AM),
- видалення пакета даних на основі запиту вищого рівня PDCP - Відхилення RLC SDU (Тільки режими AM та AM) TM).

4. MAC (контроль доступу до медіа)

Основні функції, реалізовані на рівні MAC:

- відображення між логічним та транспортним каналами,
- мультиплексування MAC SDU, що належать до одного або декількох логічних каналів, до транспортні блоки (TB), передані на фізичний рівень,
- демультимплексування MAC-PDU, отримані в транспортних блоках з фізичного рівня,
- динамічне розподіл ресурсів з урахуванням терміналу користувача (UE) та логічного каналу пріоритети, а також повідомлення про перешкоди - функція планувальника,

						Лист
					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	54
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат		

- виявлення та виправлення помилок передачі MAC PDU за допомогою гібридного методу автоматичного повторного надсилання (HARQ), Функція, що реалізує метод HARQ, умовно є частиною низький підшар- MAC, інші до підшару High-MAC.

5. Фізичний рівень

Фізичний рівень реалізує функції, перелічені в наступній таблиці. Деякі функції (залежно від опції розбиття) умовно призначаються підрівню Low-PHY, інші - підшару High-PHY.

Структурна схема інфокомунікаційного пристрою з можливістю роботи в мережі 5G наведена на рисунку 3.3.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		55

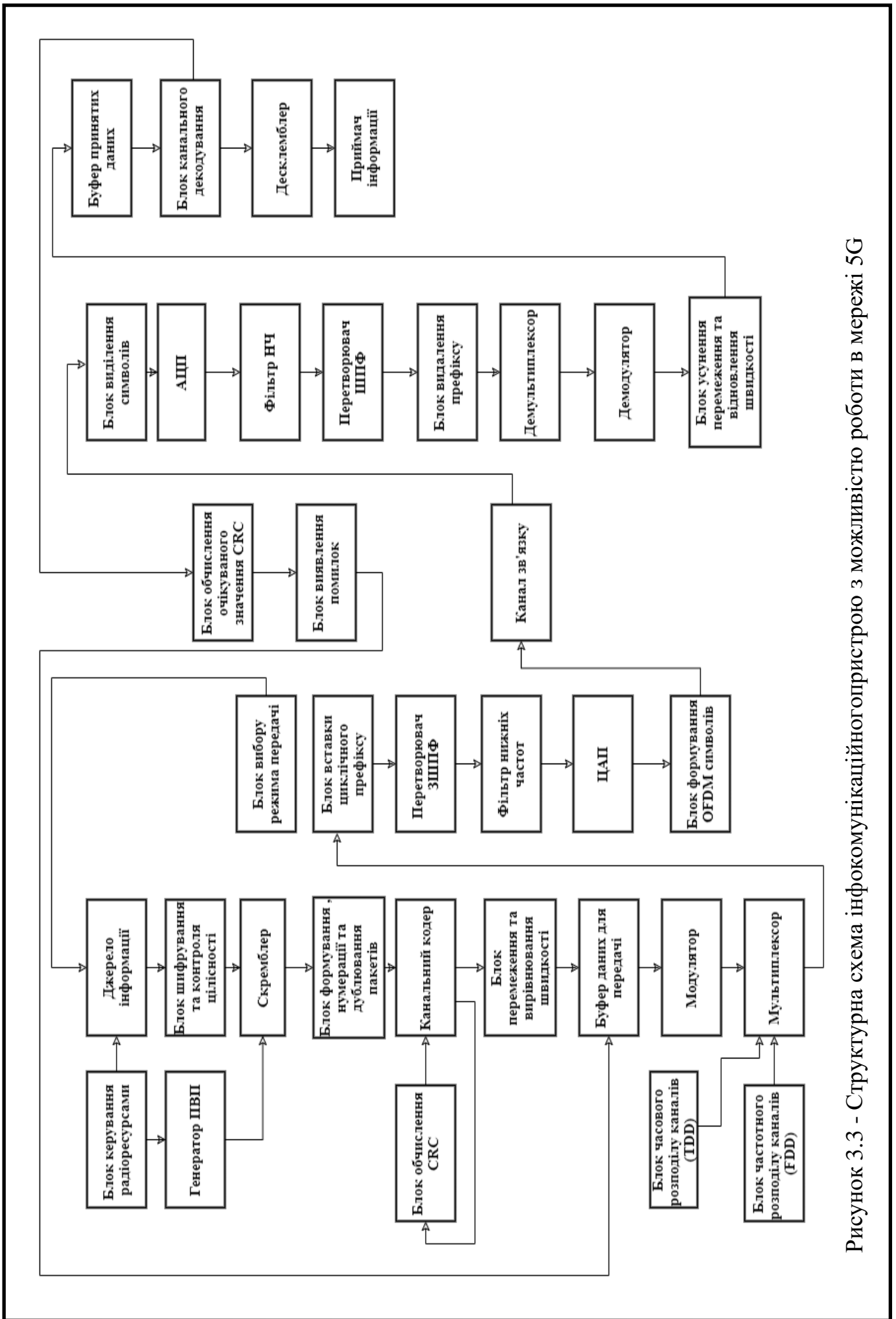


Рисунок 3.3 - Структурна схема інфокомунікаційного пристрою з можливістю роботи в мережі 5G

3.3 Алгоритм роботи системи мережевого доступу

Етап 1. Формування вхідних даних.

Етап 2. Якщо дані сформувалися, процес йде до наступного етапу, якщо ні – відбувається повернення на перший етап.

Етап 3 - 10 . Шифрування даних та контроль їх цілості, аналіз, кодування даних, робота циклічного надлишкового коду, формування даних та корегування швидкості

Етап 11. При виконанні 3-10 етапів відбувається запис сформованого пакету в буфер

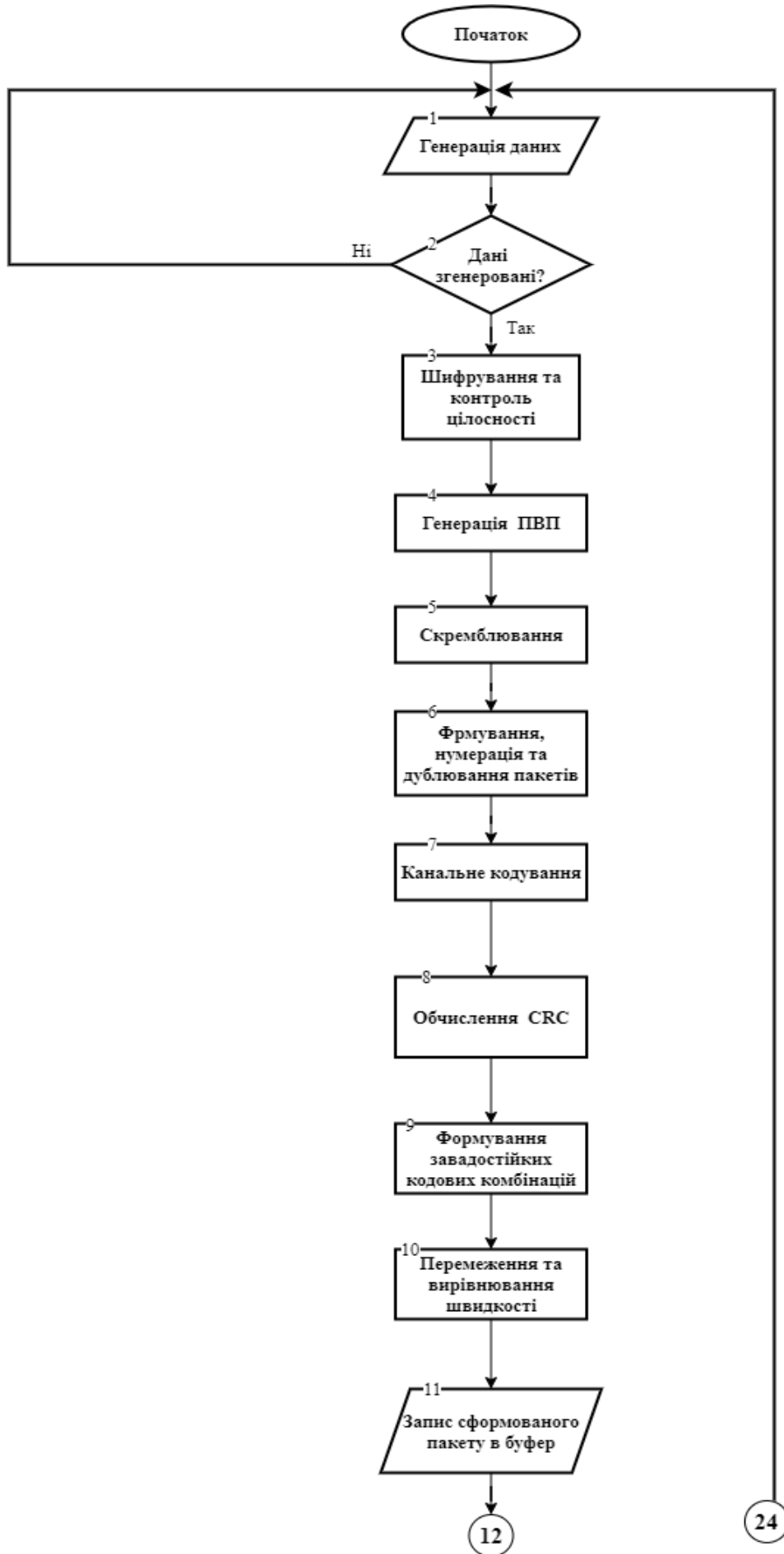
Етап 12 – 20. Відбувається формування, фільтрація та обробка частотних сигналів, перетворення цифрових сигналів в аналоговий, формування сигналів

Етап 21. Всі сформовані сигнали передаються в канал зв'язку

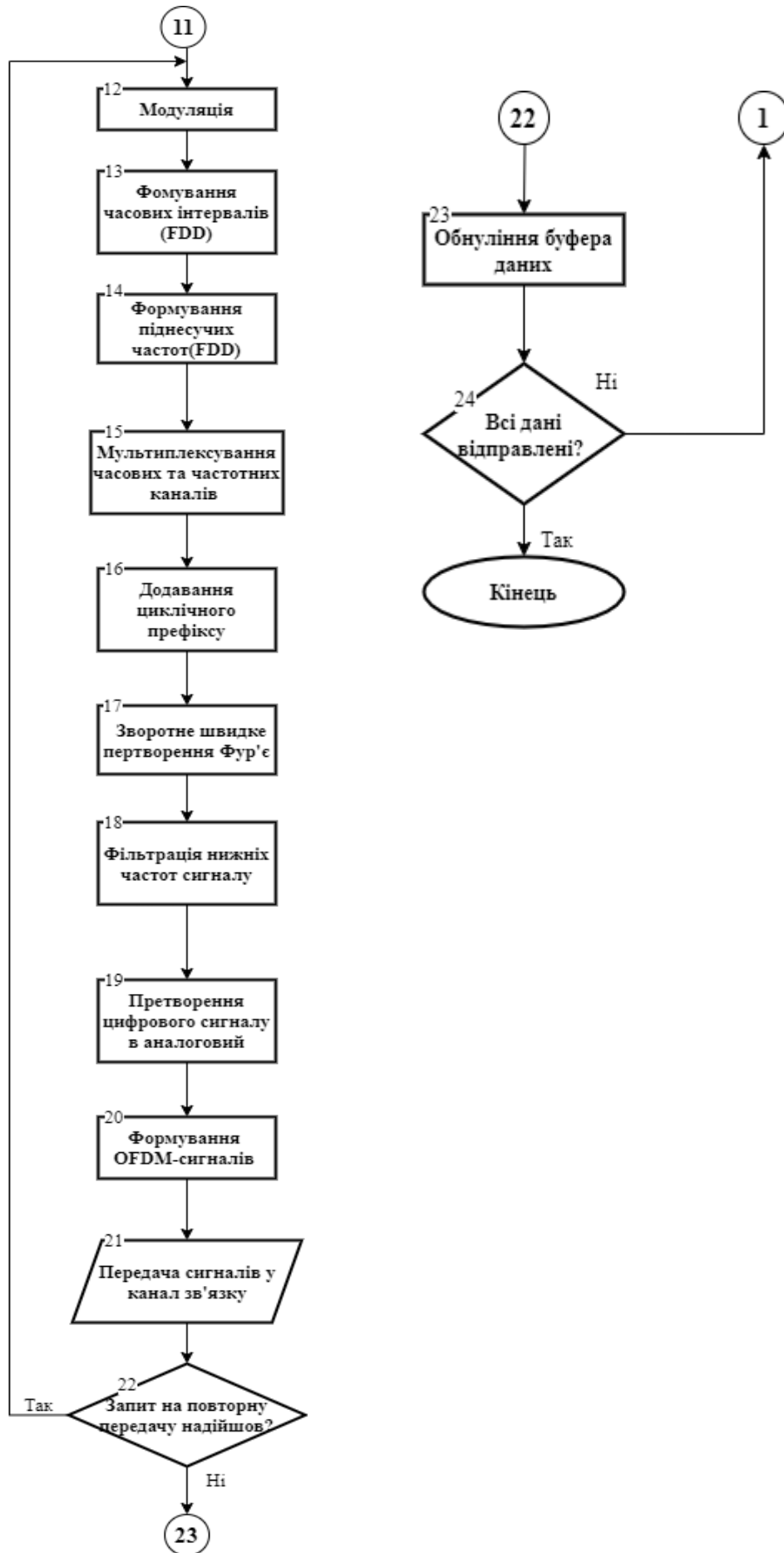
Етап 22. Якщо при передачі сигналів в канал зв'язку запит на повторну передачу надійшов, тоді процес повертається до 12 етапу, якщо ні – відбувається наступний процес.

Етап 23. Якщо всі дані відправлені відбувається завершення процесу, якщо ні – все починається спочатку.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		57



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат



Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дат

4. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ДЛЯ СИСТЕМИ МЕРЕЖЕВОГО ДОСТУПУ НА БАЗІ МОДУЛЯ SIM8300G-M2

Блок-схема модуля SIM8300G-M2 наведена на рисунку 4.1.

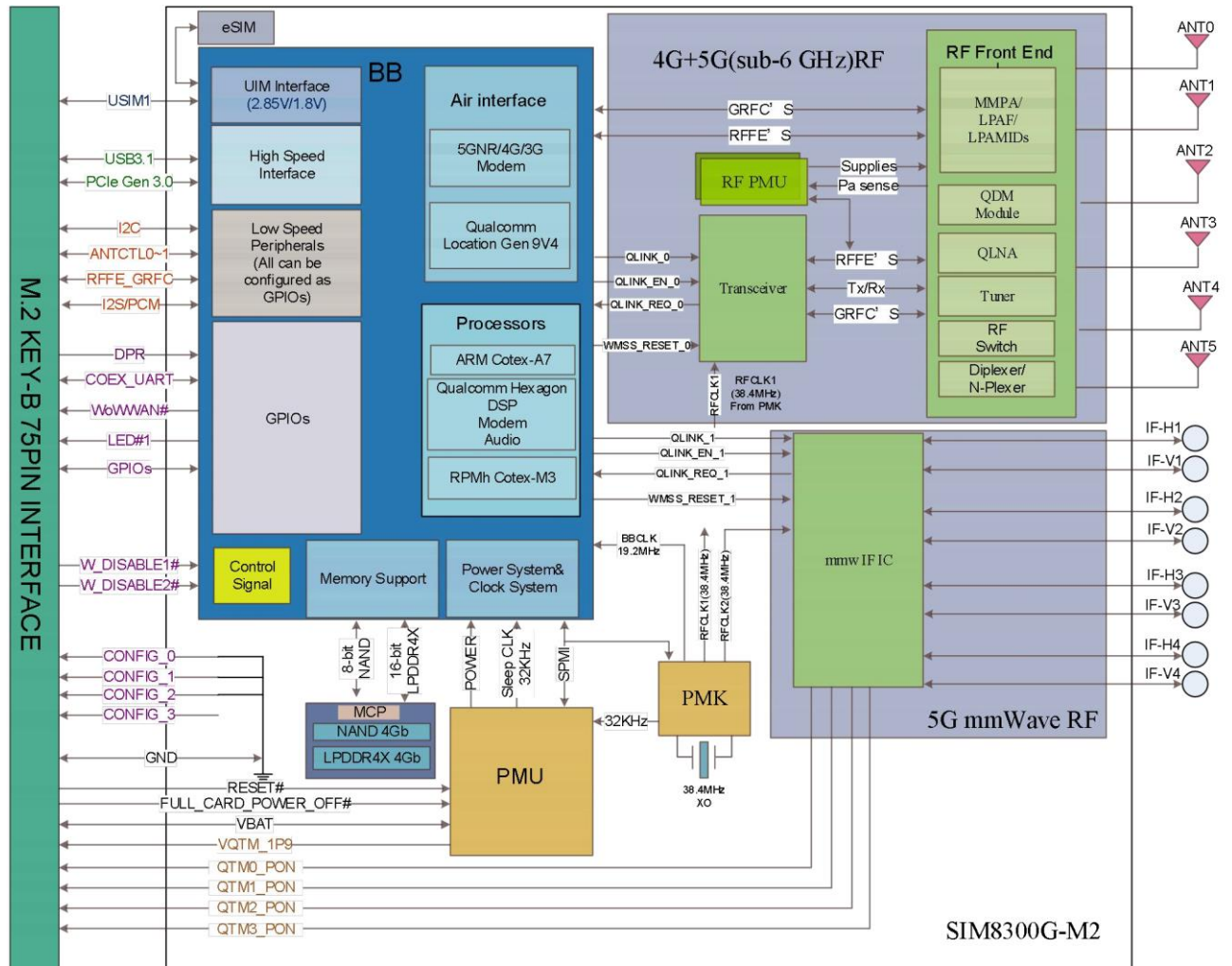


Рисунок 4.1 – Блок-схема модуля SIM8300G-M2

SIM8380G-M2 - це багатодіапазонний 5G NR/LTE-FDD/LTE-TDD/HSPA+ модуль, який підтримує R16 5G NSA/SA. Він має потужні можливості розширення з великою кількістю інтерфейсів, включаючи PCIe, USB3.1, GPIO тощо. Модуль забезпечує велику гнучкість і простоту інтеграції для додатків замовника.

						Лист
						ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		60

SIM8380G-M2 має форм-фактор M2. AT-команди SIM8380G-M2 сумісні з модулями серії SIM8300. Це також мінімізує інвестиції клієнтів і дозволяє скоротити час виходу на ринок.

Він призначений для додатків, які потребують високої пропускної здатності передачі даних в різних умовах поширення радіохвиль. Завдяки унікальному поєднанню продуктивності, безпеки та гнучкості, цей модуль ідеально підходить для багатьох застосувань[15].

SIM8300G-M2 - це модуль бездротового зв'язку, орієнтований на ринок 5G. Він підтримує технології багатоефірного доступу, включаючи 5G NR FR1 і FR2, LTE і WCDMA, може відповідати специфікації 3GPP R15 NR. Функція міліметрового діапазону реалізована за допомогою антенного модуля Qualcomm QTM525 або QTM527, QTM525 призначений для загального застосування, наприклад, для MiFi, а QTM527 - для високопотужних додатків, таких як HP CPE. Підтримувані модулем діапазони радіочастот наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Діапазони радіочастот підтримувані модулем

Стандарти	Діапазони частот
5G mmwave	QMT525-2: n257/n261 та n258; QMT525-5: n258,n260 та N257/n261 QMT527-1: n260 та n261; QMT527-2: n257/n261 та n258;
5G Sub-6G	n1/n2/n3/n5/n7/n8/n12/n20/n25/n28/n38/n40/n41/n48/n66/n71/n77/ n78/n79
LTE-FDD	B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B12/B13/B14/B17/B18/B19/B20/B25/B26 /B28/B29/B30/B32/B66/B71
LTE-TDD	B34/B38/B39/B40/B41/B42/B43/B48
LAA	B46
WCDMA	B1/B2/B3/B4/B5/B8
GNSS	GPS L1+L5 dual bands/GLONASS/BeiDou/Galileo/QZSS

Таблиця 4.2

Характеристика	Значення
Джерело живлення	VBAT: 3,135 4,4 В Типовий: 3,8 В
Споживана потужність *	5 мА в сплячому режимі (VBAT = 3,8 В, AT + CFUN = 0) *
Потужність передачі	Клас потужності 1 для 5G мм-хвилі (з QTM527) Клас потужності 3 для 5G мм-хвилі (з QTM525) Клас потужності 3 для WCDMA / LTE / 5G NR Клас потужності 2 для n41 / n78 / n79
Передача інформації пропускна здатність	7 Гбіт / с (DL) / 3 Гбіт / с (UL) для 5G mmWave 4 Гбіт / с (DL) / 1 Гбіт / с (UL) для 5G Sub-6G 2 Гбіт / с (DL) / 200 Мбіт / с (UL) для LTE 42 Мбіт / с (DL) / 5,76 Мбіт / с (UL) для HSPA +
Антенa	Шість антен для 3G / 4G / 5G і GNSS Вісім портів інтерфейсу IF для підключення антенного модуля mmWave
GNSS	Двигун GNSS: GPS L1 + L5 / ГЛОНАСС / BeiDou / Galileo / QZSS Протокол: NMEA
СМС	Режими MT, MO, CB, Text і PDU Зберігання SMS: (U) SIM-карта або ME (за замовчуванням) Альтернативна передача SMS через CS або PS

(U) Інтерфейс SIM-карти	Підтримка (U) SIM-карти: 1,8 В / 3,0 В
(U) Набір інструментів додатка для SIM-карти	Включає інтерфейси (U) SIM1 і e-SIM (всередині модуля)
Управління телефонною книгою	Підтримка типів телефонної книги: DC, MC, RC, SM, ME, FD, ON, LD, EN
Цифровий аудіоінтерфейс	Один інтерфейс I2S з виділеними основними годинами для первинного цифрового звуку, I2S також може бути налаштований як PCM <ul style="list-style-type: none"> • Частота MCLK: 12,288 МГц (за замовчуванням) • WCDMA AMR-NB • VoLTE AMR-WB • Придушення луни • Придушення шуму
Інтерфейс PCIe	<ul style="list-style-type: none"> • Однополосний інтерфейс PCIe, підтримка Gen 3 (сумісність з Gen 1/2) • Висока швидкість передачі даних до 8 Гбіт / с
I2C інтерфейс	<ul style="list-style-type: none"> • Відповідає специфікації I2C, версія 5.0 • швидкість передачі даних до 400 Кбіт / с
Інтерфейс USB	Підтримка USB 3.1 Gen2 USB3.1: супер швидкість, швидкість передачі даних до 10 Гбіт / с

На рисунку 4.2 показано призначення контактів модуля.

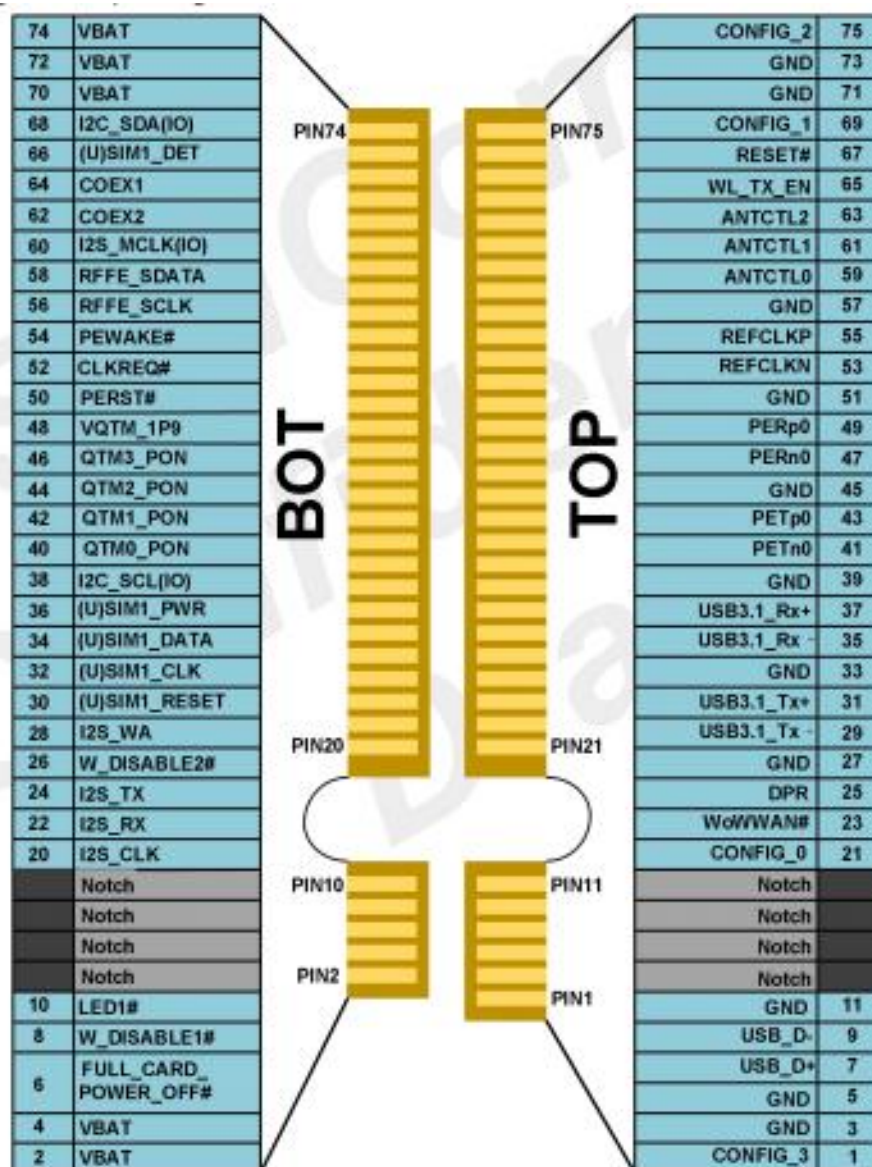


Рисунок 4.2 – Контакти модуля

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

4.1 Інтерфейсний додаток модуля

Електроживлення

Рекомендоване джерело живлення для SIM8300G-M2 становить 3,8 В, а напруга коливається від 3,135 В до 4,4 В. Бажано, щоб вхідна напруга ніколи не опускалась нижче 3,135 В, інакше відбудеться автоматичне вимкнення модуля. В модулі є 5 контактів живлення та 11 контактів заземлення. Для підтвердження правильності роботи модуля, слід підключити всі виводи.

Таблиця 4.2 - Електричні характеристики контактів VBAT

Символ	Опис	Мін.	Тип.	Макс.	Одиниця
VBAT	Напруга живлення модуля	3.135	3.8	4.4	V
I_{Peak}	Піковий струм	-	-	TBD	A
I_{Sleep}	Струм у сплячому режимі (AT + CFUN = 0)	-	5	-	mA
$I_{Leakage}$	Струм у режимі вимкнення	-	50	-	uA

При передачі струма на максимальній потужності, I_{Peak} досягне максимальної точки, що призведе до падіння напруги на VBAT. Для того щоб напруга не була нижчою за 3,135 В, зовнішнє джерело живлення повинно мати необхідну потужність струму зовнішнього джерела живлення.

На рисунку 4.3 показано максимальне падіння напруги протягом максимальної потужності радіопередачі [\[15\]](#).

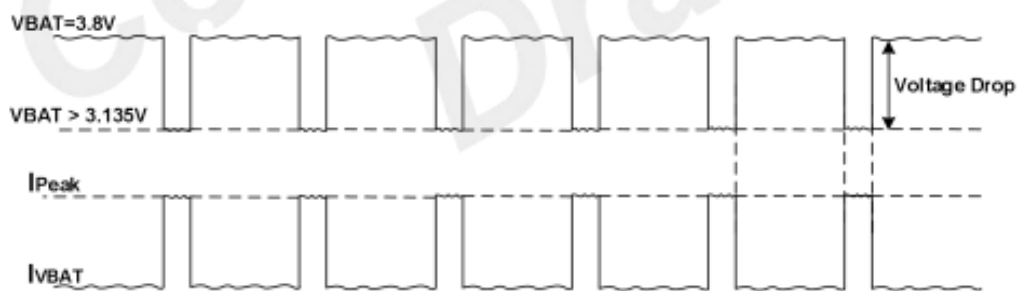


Рисунок 4.3 – Падіння напруги VBAT при максимальній потужності радіопередачі

1. Загальна кількість конденсаторів VBAT повинна бути не менше ніж 420 мкФ

Для зниження падіння напруги, конденсатори VBAT не повинні бути менше ніж 420 мкФ.

На рисунку 4.4 показана опорна схема живлення VBAT:

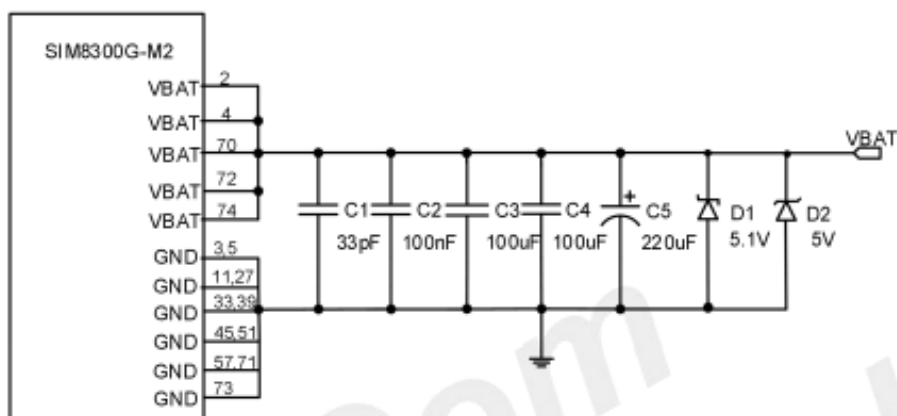


Рисунок 4.4 – Опорна схема джерела живлення

В даній схемі для зменшення ЕМІ можна використати багатошарові керамічні конденсатори (0,1 / 1 мкФ) з низьким значенням ESR у високочастотному діапазоні. Ці конденсатори потрібно розміщувати якомога ближче до виводів VBAT. Користувачі також повинні мати трасування VBAT на друкованій платі шириною більше 3,0 мм, для мінімізації впливу трасування плати на електромагнітні перешкоди[15].

Примітки:

1. C5 - танталовий конденсатор 220 мкФ, ESR = 0,7 Ом.
2. C1 і C2 - це багатошарові керамічні чіп-конденсатори (MLCC) від 33pF до 1uF з низьким коефіцієнтом ESR у високочастотній смузі, які можна використовувати для роботи EMC.
3. D2 використовується для захисту від електростатичного розряду, а D1- для захисту від перенапруги.

Рекомендації по розміщенню джерела живлення:

- VBAT, та зворотна лінія повинні бути максимально короткими і широкими, для мінімізування падіння напруги.
- Ширина шини VBAT не має бути меншою за 3,0 мм.
- Конденсатори мають бути розташовані якомога ближче до виводів VBAT.
- Трасування VBAT повинна проходити через TVS-діод, стабілітрон і конденсатори, а потім через клеми VBAT. Конденсатор малої ємкості слід розташовувати поруч контактів VBAT.
- Конструкція друкованої плати включати в себе суцільну площину заземлення, як основну опорну площину для більшості сигналів.

Схема джерела живлення

Рекомендується використовувати імпульсний блок живлення. Вихідна потужність імпульсного блоку живлення повинна бути розділена на живлення ВВ та живлення радіочастотної антени RF mmw. На рисунку 4.5 показана опорна схема імпульсного джерела живлення з входом 12 В і виходом 3,8 В.

1. Для запобігання пошкодження модуля, не рекомендується вимикати живлення, поки модуль працює в нормальному режимі. Модуль виключається командою `FULL_CARD_POWER_OFF #` або командою `AT`, після цього можна відключити джерело живлення.
2. Рекомендується, аби в конструкції замовника була передбачена можливість вимкнення живлення для модуля в нештатному стані, а потім включити живлення для відновлення працездатності.
3. Рекомендовано підключити сигнал `PWR_CTRL` до хосту, і можна ним керувати.
4. Використовуйте адаптер живлення мінімум 12 В 8 А.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		67

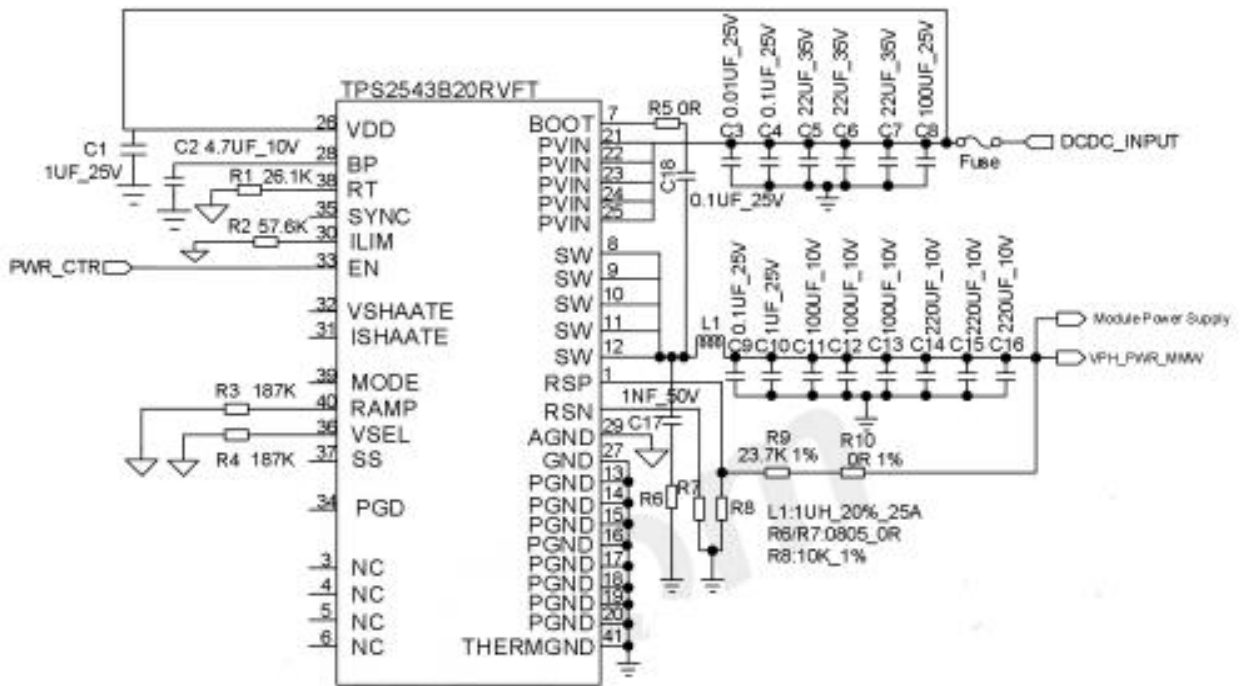


Рисунок 4.5 – Комутаційна схема імпульсного джерела живлення

Модуль включення / виключення.

При подачі високо сигналу на вивід FULL_CARD_POWER_OFF#, SIM8300G-M2 буде увімкнено. Це може бути від 1,8 В або 3,3 В GPIO. На рисунку 4.6 показано схему включення / виключення живлення.

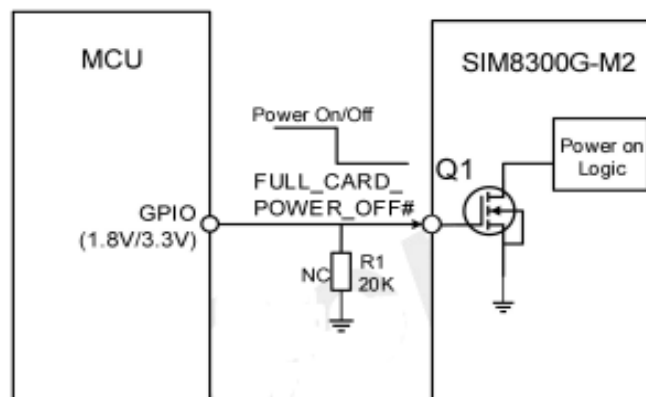


Рисунок 4.6 – Схема включення / вимкнення опорного живлення

Після того, як модуль переходить у режим примусового завантаження, сигнал FULL_CARD_POWER_OFF # відпускається. Якщо ні, модуль перезапуститься, а потім спричинить помилку завантаження.

Увімкнення живлення

Послідовність включення зображена на рисунку 4.7.

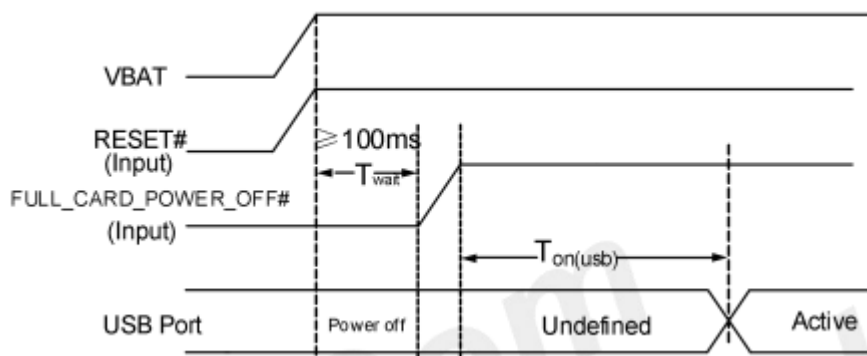


Рисунок 4.7 – Послідовність включення живлення

Таблиця 4.3

Символ	Параметр	Мін.	Тип.	Макс.	Одиниця
T_{wait}	Час очікування від джерела живлення, доступного для дії	100	-	-	ms
$T_{on(usb)}$	Час від включення живлення до готовності порту USB	-	12	-	s
V_{IH}	Вхідна напруга високого рівня на FULL_CARD_POWER_OFF #	1.2	1.8	4.4	V
V_{IL}	Подача напруги низького рівня на висновок FULL_CARD_POWER_OFF #	0	-	0.2	V

Після вимкнення модуля потрібно зачекати близько 12 секунд, перш ніж вимкнути живлення, а потім вже увімкнути модуль.

Вимкнення живлення

Існує декілька способів вимкнення живлення:

1. Вимкнути живлення модуля, утримуючи вивід FULL_CARD_POWER_OFF # в стані низького рівня.
2. Вимкнути живлення модуля за допомогою команди AT “AT + CPOF
Надмірне вимкнення живлення призведе до відключення модуля від мережі, що дозволить програмному забезпеченню перейти в безпечний стан і зберегти головні дані до повного вимкнення модуля [15].

Послідовність вимкнення подана на рисунку 4.8.

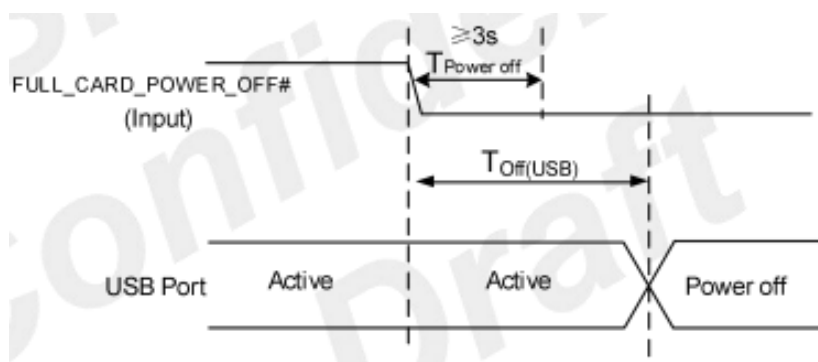


Рисунок 4.8 – Послідовність вимкнення

Таблиця 4.4

Символ	Парам.	Мін.	Тип.	Макс.	Одиниця
$T_{Off(USB)}$	Час від вимкнення живлення до вимкнення USB-порту	-	9	-	S
$T_{Power\ off}$	Час, утримання виводу FULL_CARD_POWER_OFF # на низькому рівні для переходу модуля в стан вимкнення	-	3	-	S

SIM8300G-M2 можна скинути, подавши сигнал на RESET#. Сигнал RESET# підтримується внутрішньою напругою до 1,8 В, тому його не потрібно встановлювати зовні.

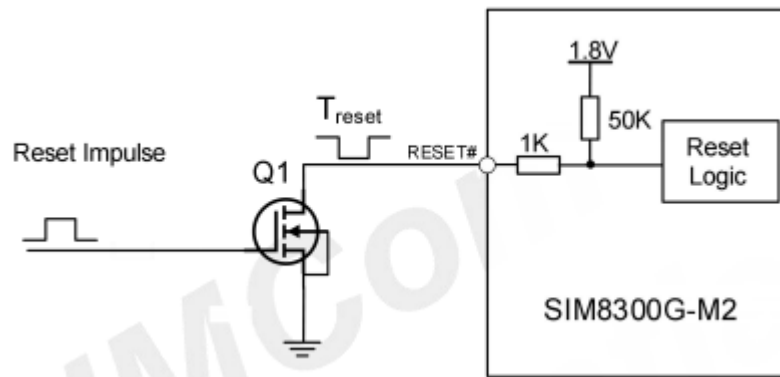


Рисунок 4.9 – Схема скидання опорного значення

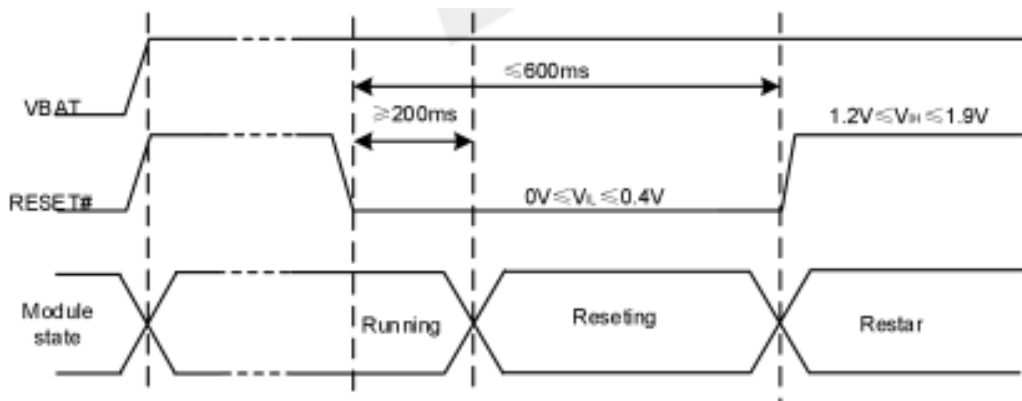


Рисунок 4.10 – Послідовність синхронізації модуля

Таблиця 4.5

Символ	Парам.	Мін.	Тип.	Макс.	Одиниця
T_{reset}	Затримка низького рівня на виводі RESET#	200	-	600	ms
V_{IH}	Вхідна напруга високого рівня	1.2	-	1.9	V
V_{IL}	Вхідна напруга низького рівня	0	-	0.4	V

Інтерфейс I2C

SIM8300G-M2 підтримує інтерфейс I2C, відповідний специфікації I2C версії 5.0, зі швидкістю передачі даних до 400 кбіт / с. На рисунку 4.11 показана контрольна схема інтерфейсу I2C.

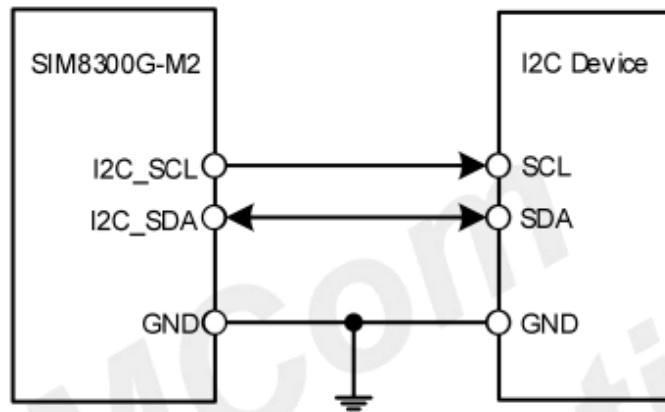


Рисунок 4.11 – I2C опорний контур

WoWWAN#

Вивід WoWWAN# - це сигнал активації системи, який може бути використаний як сигнал переривання для хоста. У звичайному режимі тримається на високому рівні. І змінюється на низький рівень, коли виникають конкретні умови, наприклад, отримання SMS, голосового виклику (CSD, відео) або URC-повідомлення, час імпульсу низького рівня становить 1 секунду.

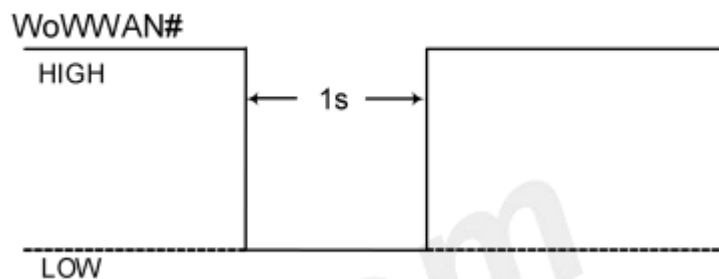


Рисунок 4.12 – Рівень сигналу WoWWAN # при SMS та URC

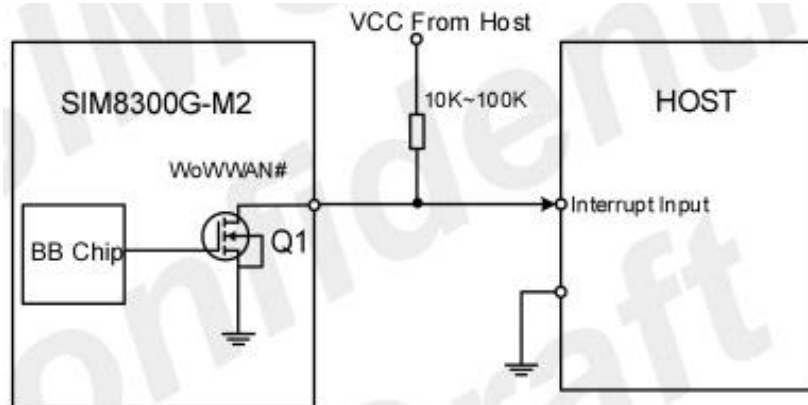


Рисунок 4.13 – Опорна схема WoWWAN #

USB Інтерфейс

SIM8300G-M2 оснащений інтерфейсом USB, який відповідає специфікаціям USB3.1 та 2.0. Користувачі можуть обрати USB3.1 або USB2.0 для своїх потреб. Швидкість передачі даних по USB 3.1 досягає 10 Гбіт / с.

Інтерфейс USB використовується для командного зв'язку АТ, виводу GNSS NMEA, передачі даних, оновлення прошивки та налагодження програмного забезпечення.

Модуль забезпечує механізм автоматичного призупинення та відновлення роботи USB, завдяки якому заощаджується енергоспоживання. При відсутності передачі даних по шині USB модуль автоматично переходить в режим очікування[15].

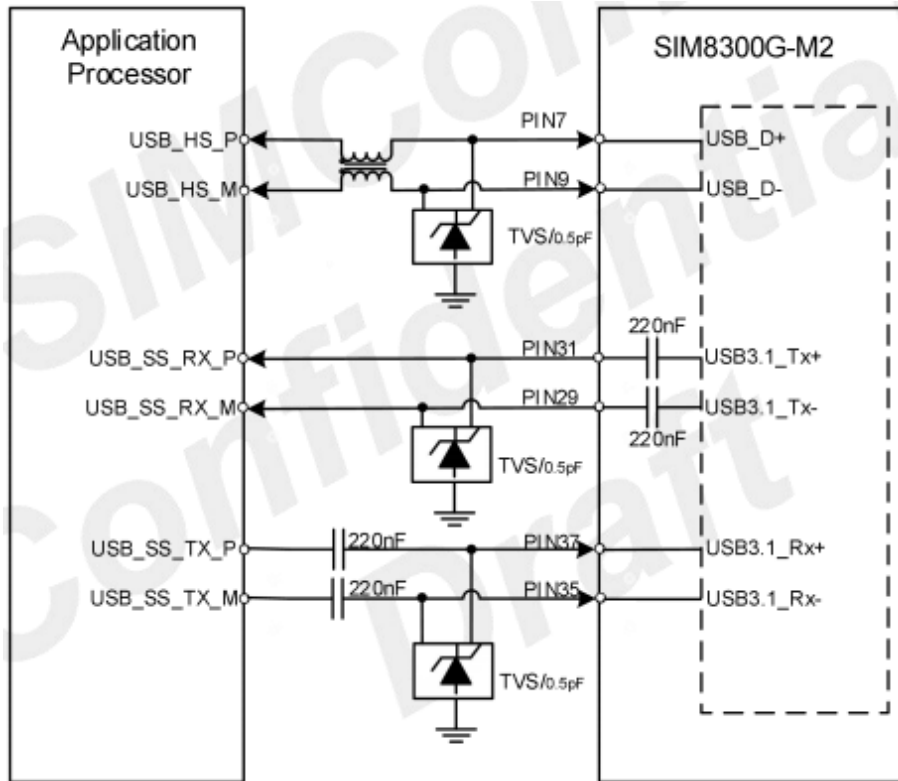


Рисунок 4.14 – Опорна схема USB

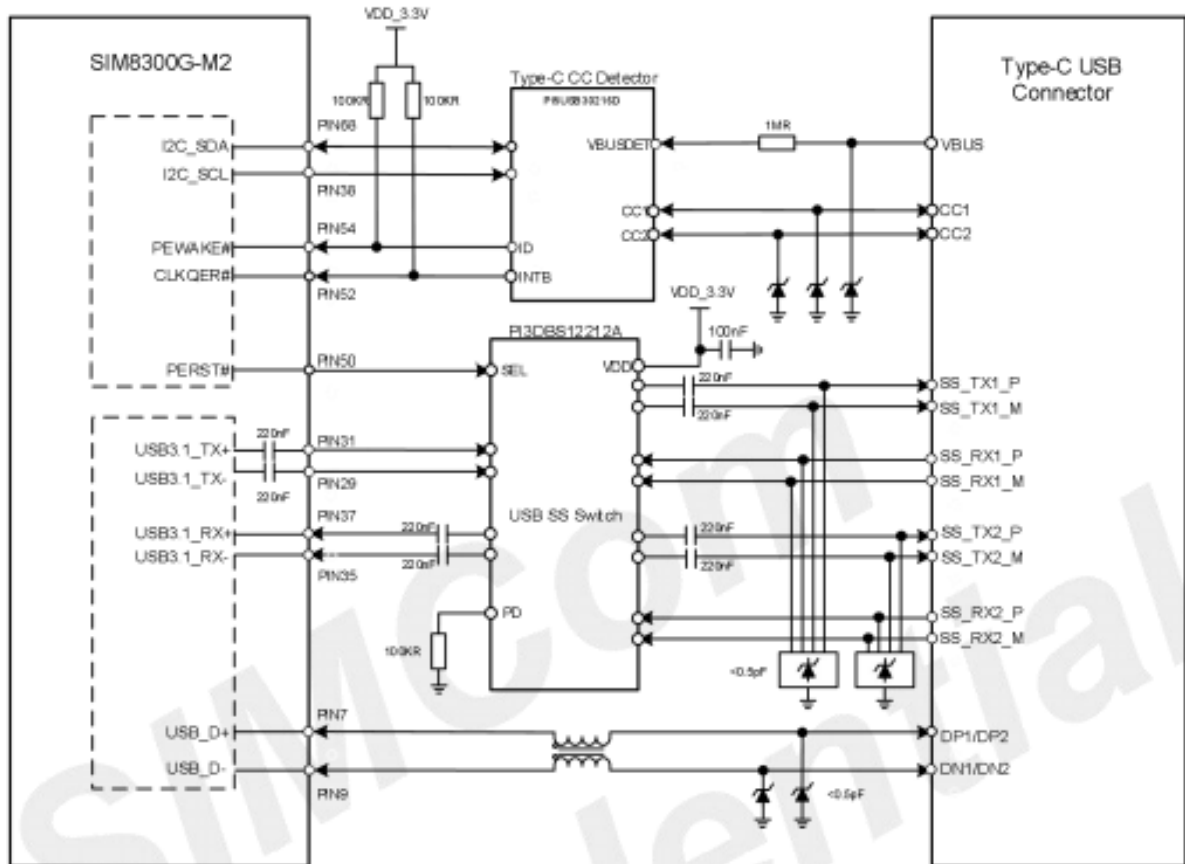


Рисунок 4.15 – Опорна схема USB типу С з детектором СС

Вказівки щодо розташування USB HS D + / D :

- Необхідний диференціальний опір сигналу $90 \pm 10\%$ Ом.
- Внутрішньосмугова розбіжність довжини каналів диференціального сигналу не перевищує 1 мм.
- Проміжок від інших сигналів дотримується 3-кратної ширини лінії
- Зовнішні компоненти слід розміщувати поблизу роз'єму USB
- Трасування слід проводити подалі від інших чутливих сигналів (ВЧ, аудіо та 38,4 МХО).
- Діод TVS необхідно розміщувати поруч з контактами USB роз'єму M.2.
- Загальна довжина доріжки друкованої плати не може перевищувати 100 мм поза модулем, чим коротша доріжка, тим вища вартість

Вказівки щодо конфігурації USB SS TX / RX:

- Необхідний диференціальний опір сигналу $90 \pm 10\%$ Ом.
- Внутрішньосмугова розбіжність довжини каналів диференціального сигналу не перевищує 500мкм.
- Розрив від інших сигналів становить ширину 4xline. Розрив між сигналами Rx-to-Tx підтримує ширину 4xline.
- Зовнішні компоненти слід розміщувати поблизу USB-роз'єму.
- Трасування слід проводити подалі від інших чутливих сигналів (ВЧ, особливо 2,4 ГГц).
- Діод TVS необхідно розміщувати поруч з контактами USB роз'єму M.2
- Для забезпечення хорошого контролю імпедансу та мінімізації розривів прокладайте диференціальні пари у внутрішніх шарах з фіксованою опорою GND.
- Дотримуйтесь ізоляції між парами Tx, Rx та DP / DM, щоб уникнути перехресних перешкод.
- Якщо використовуються провідники, застосовуйте не більше двох провідників на сигнальну лінію, щоб обмежити кількість шлейфів

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		75

PCIe Інтерфейс

SIM8300G-M2 підтримує одноканальні інтерфейси PCIe Gen3, зі швидкістю передачі даних до 8 Гбіт / с, і може функціонувати в режимі EP або RC*. CLKREQ # та PEWAKE # вимагають підвищення напруги до 3,3 В за допомогою резистора на 100 кОм в дизайні замовника[15].

На рисунку 4.16 показана еталонна схема PCIe.

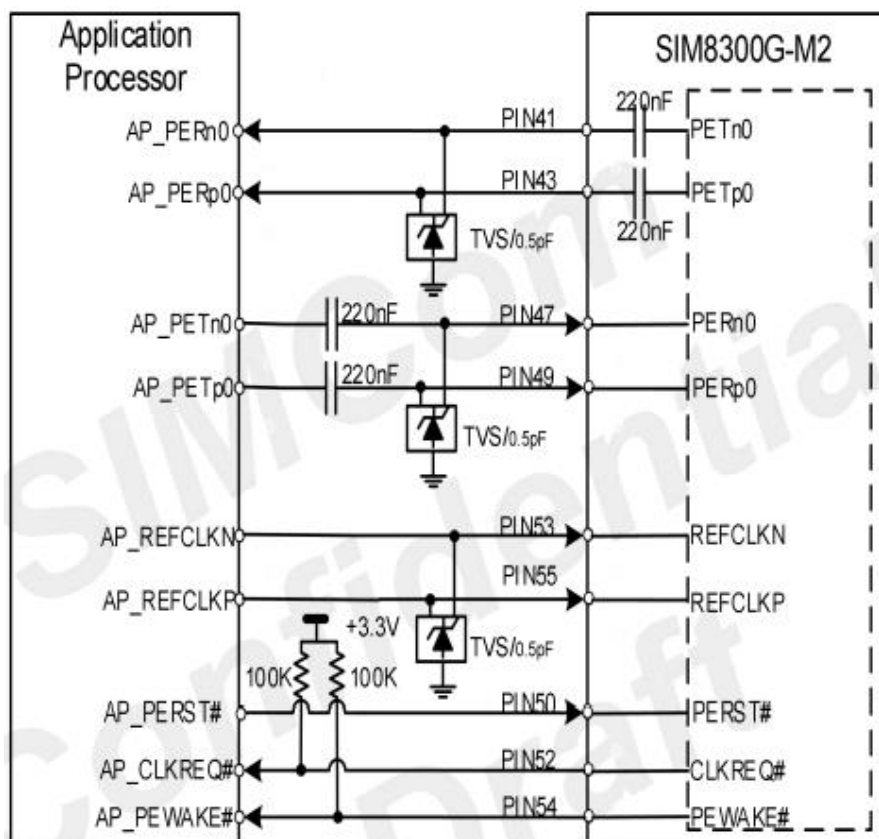


Рисунок 4.16 – Довідкова схема інтерфейсу PCIe (режим EP)

1. «*» означає, що знаходиться в стадії розробки, за більш детальною інформацією слід звернутися до служби підтримки SIMCom.
2. Конденсатори змінного струму AP_PETn0 та AP_PETp0 мають бути замкнені на AP.
3. Діапазон напруги сигналів асистента PCIe дорівнює 3,3 В.
4. При використанні модуля в якості EP-модуля, інтерфейс USB в одночас не буде підтримуватись.

Рекомендації щодо компонування інтерфейсу PCIe:

- Диференціальний імпеданс траси повинен становити $90 \pm 10\% \Omega$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		76

- Розбіжність внутрішньосмугової довжини смуг диференціального сигналу не повинна перевищувати 500мкм.
- Відстань від інших сигналів має бути шириною в 4xline.
- Розрив між Rx-to-Tx залишається шириною 4xline.
- Діод TVS має бути розташований поблизу контактів PCIe роз'єму M.2
- Решта чутливих/високошвидкісних сигналів і ланцюгів мають бути захищені від пошкодження PCIe.
- Сигнали PCIe необхідно захистити від шумів(годинник, SMPS).
- Кожне трасування повинно прилягати до площини заземлення.
- Загальна довжина траси друкованої плати не може перевищувати 150 мм поза модулем, чим коротше траса, тим краще.

(U)SIM Interface

SIM8300G-M2 підтримує роботу з двонапруженими картами 1,8 В або 3,0 В (U)SIM1 або e-(U) SIM (внутрішня карта модуля) , розмір e-(U) SIM дорівнює 2 мм * 2 мм * 1 мм.

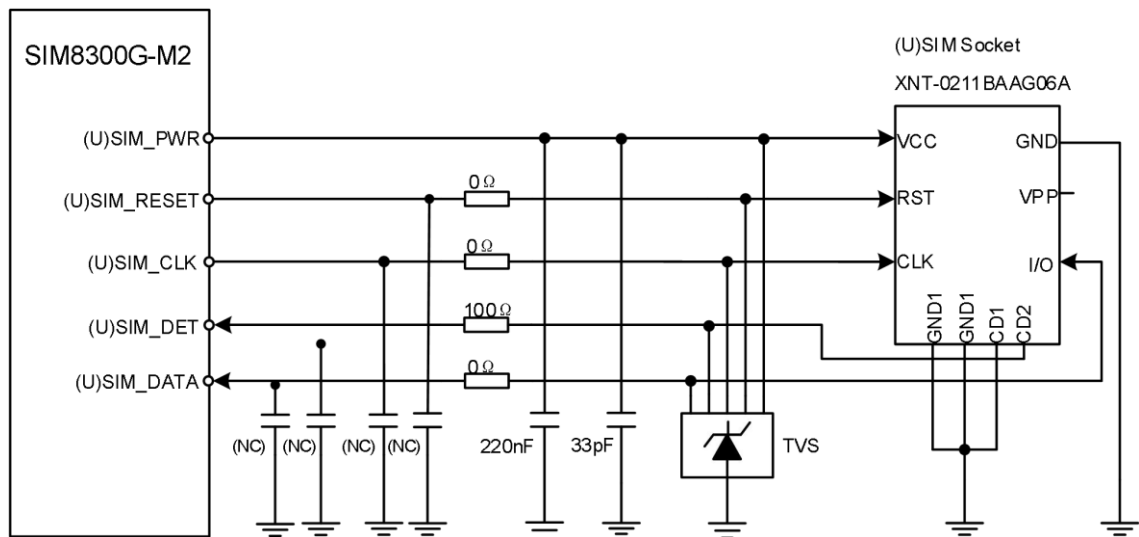


Рисунок 4.17 – (U) еталонна схема інтерфейсу SIM

I2S Опірний ланцюг

SIM8300G-M2 підтримує один інтерфейс I2S для зовнішнього кодека, який відповідає вимогам в шині Phillips специфікації шини I2S.

На рисунку 4.18 показана зовнішня схема дизайну опорних кодеків.

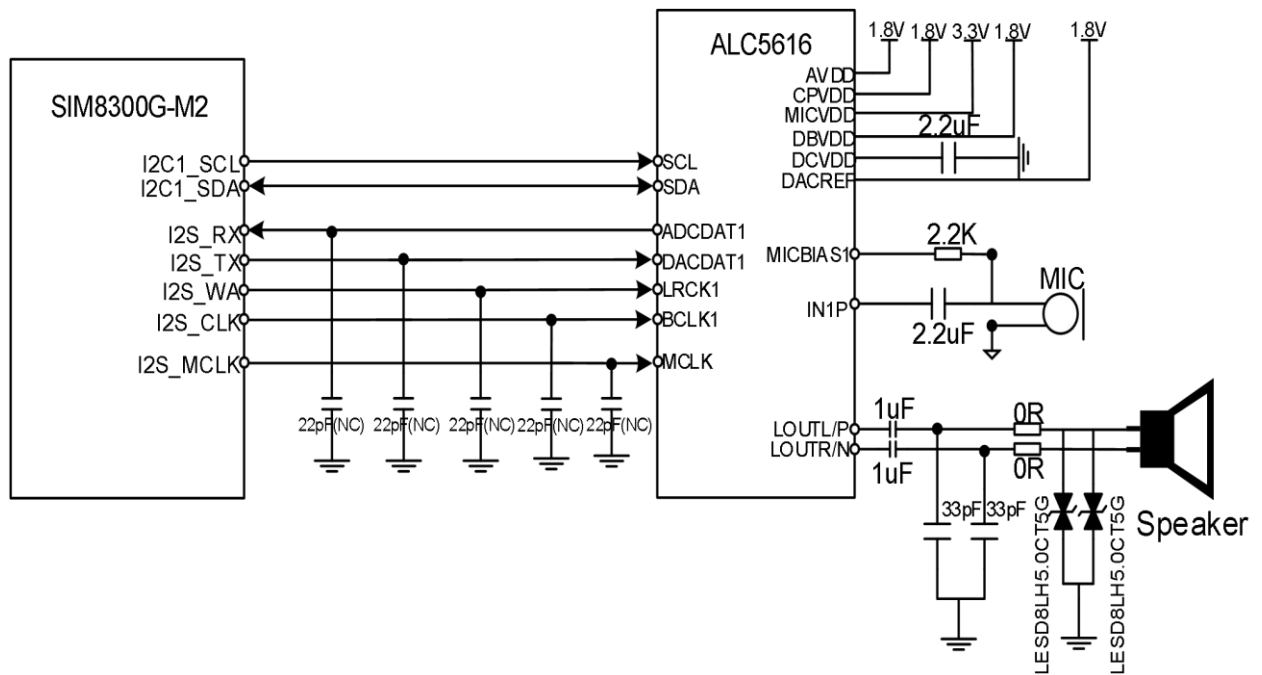


Рисунок 4.18 – Зовнішня схема дизайну опорних кодеків

ALC5616 - це високопродуктивний, малопотужний, стереоканальний аудіокодек з інтерфейсом I2S. Передані дані можуть надходити з аналогового входу або цифрового мікрофонного входу. Також отримані дані можуть на вихід для навушників, лінійний вихід. ALC5616 оснащений підсилювачем для навушників з наднизькою потужністю без ковпачка. Він споживає лише менше 6,5 мВт потужності під час відтворення, забезпечуючи мобільній системі більш тривалий час автономної роботи в режимі прослуховування в навушниках. Вбудований DRC (контролер динамічного діапазону) і 7-смуговий параметричний еквайзер забезпечують подальшу цифрову обробку звуку в трактах відтворення аудіосигналу. DRC в ALC5616 постійно контролює рівень вихідного сигналу ЦАП. Коли рівень потужності низький, він збільшує коефіцієнт посилення вхідного сигналу, щоб він звучав голосніше. У той же час, якщо виявлено сигнал, що розмовляє, він автономно зменшує застосоване посилення, щоб уникнути жорсткого відсікання. Це забезпечує максимальну/постійну амплітуду сигналу, не створюючи обривів звуку і не пошкоджуючи динамік. 7-смуговий параметричний еквайзер містить 7 незалежних фільтрів з програмованим коефіцієнтом посилення, центральною частотою і смугою пропускання для налаштування частотних характеристик вбудованої акустичної системи відповідно до уподобань

користувача. Для мікрофонного запису DRC в ALC5616 може використовуватися як AGC (автоматичний регулятор посилення) для підтримки постійної гучності запису. Крім того, на шляху запису вбудований динамічний фільтр зменшення вітру. Фільтр може визначати рівень шуму вітру і динамічно вмикатися/вимикатися для збереження якості запису. ALC5616 вимагає лише двох джерел живлення і споживає наднизьке енергоспоживання, що робить його ідеальним для мобільних пристроїв [14].

За замовчуванням апаратне забезпечення SIM8300G-M2 налаштоване як звичайний зв'язок UART (команда AT). UART рівень SIM8300G-M2 становить 1,8 В при необхідності зв'язку з рівнем послідовного порту 3,3 В, рекомендується використовувати мікросхему рівня зсуву [15].

На рисунку 4.19 зображено еталонну схему проектування зсуву рівня

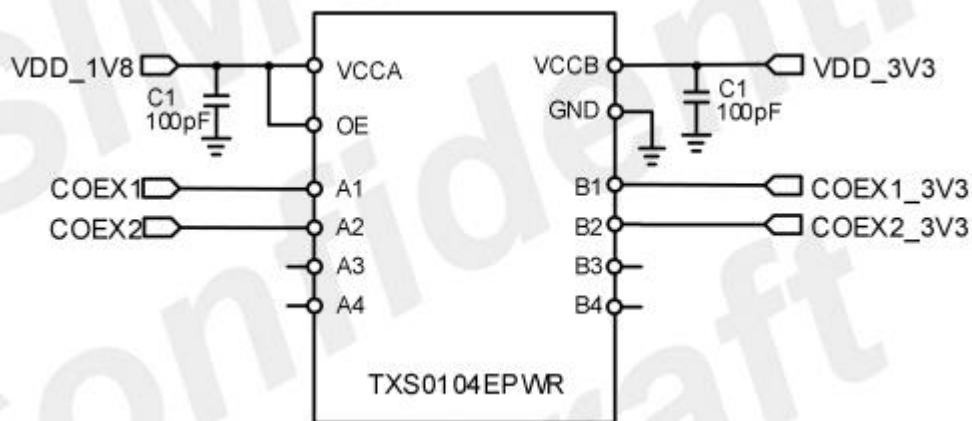


Рисунок 4.19 – Схема перетворення рівня UART

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Собівартість даного пристрою – це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на його виробництво і збут. Витрати на виробництво пристрою формують виробничу собівартість, а витрати на виробництво і збут – повну собівартість. Розрахунок собівартості пристрою за статтями витрат називається калькуляцією.

Витрати, пов'язані з виробництвом і збутом реалізацією системи групуються за такими статтями:

- матеріали та комплектуючі;
- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на соціальні заходи;
- витрати на утримання і експлуатацію устаткування;
- загальновиробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- витрати на збут.

Витрати на матеріали та комплектуючі визначаються виходячи з ціни за одиницю матеріалу або комплектуючого та їх загальної кількості, наведемо в таблиці 5.1 повний перелік комплектуючих, які необхідні для реалізації системи та в таблиці 5.2 витрати за сировину та матеріали.

Дані про ціни на матеріали та комплектуючі варто брати з відомостей виробників і постачальників матеріалів, сировини, комплектуючих, послуг в розрахунку на 1 одиницю випуску.

З урахуванням транспортно-заготівельних витрат ($k_{м-з}=5\div 15\%$) вартість комплектуючих та матеріалів складе:

$$KM = (15009,09 + 268,65) \cdot \frac{100 + 5}{100} = 16041,63 \text{ грн.}$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		80

Таблиця 5.1 - Матеріали та комплектуючі

№ з\п	Найменування комплектуючого	К-ть, шт	Ціна за од., грн	Вартість, грн
Мікросхеми				
1	SIM8300G-M2	1	12926,94	12926,94
2	ALC5616	1	75	75
3	MCP4725 I2C	1	262	262
4	VNC2-48L ИМС USB Host	3	239	717
5	Модуль USB type-c CC	2	100	200
6	TXS4555	1	293,75	293,75
Резистори				
1	ОМЛТ-0,5 10кОм(±5%)	10	1	10
2	C2-29В-0,125Вт 100кОм(±0,2%)	4	2	8
3	ОМЛТ-1 2,2кОм(±5%)	7	1,50	10,5
4	Резистор(±5%) 0,25Вт 0,0 Ом	5	0,5	2,5
Конденсатори				
1	K53-4А 1мкФ 30В, 10%	2	4,8	9,6
2	220nF 250V ±10%	4	39	156
3	КТ-1, М47 33pF±10%	1	2	2
4	K53-4А, 2,2мкФ 30В ±10%	2	4,8	9,6
5	КТ-1, М47 22pF±10%	4	2	8
Діоди				
1	ESDA6V1-5W6	1	3,07	3,07
2	CG0402MLU-24G	3	13,7	41,1
3	SMD BAS40-04	4	2	8
Інше				
1	ESD5302N-3/TR	1	233,10	233,10
2	PI5USB30216D	1	39,2	39,2
3	PI3DBS12212A	1	31,33	31,33
Сумарні витрати				15009,09

Таблиця 5.2 - Розрахунок затрат на матеріали

Матеріал, сировина	Одиниця виміру	Норма витрати	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Шлейф	м	0,3	26	19,5
Склотекстоліт	м ²	0,4	398	159,2
Каніфоль	кг	-	-	-
Флюс	кг	0,2	236	47,2
Припій	кг	0,1	315	31,5
Лак	кг	0,03	375	11,25
Сумарні витрати				268,65

Витрати на основну заробітну плату (Z_o):

$$Z_o = \sum_{i=1}^n T_{Г_i} \cdot N_{ч_i} \cdot n$$

де:

- $T_{Г_i}$ – годинна тарифна ставка окремого спеціаліста (інженера електронщика, лаборанта тощо), що задіяний у виробництві пристрою (установки), грн/год;
- $N_{ч_i}$ – витрачений час робітником на виробництво і наладку пристрою (установки);
- n – кількість працівників, які задіяні у виробництві пристрою (установки).

Годинна тарифна ставка розраховується, виходячи з величини місячного окладу спеціаліста.

Де:

- $T_{Г_i}$ – годинна тарифна ставка окремого спеціаліста (інженера електронщика, лаборанта тощо), що задіяний у виробництві пристрою (установки), грн/год;
- $N_{ч_i}$ – витрачений час робітником на виробництво і наладку пристрою (установки);

- n – кількість працівників, які задіяні у виробництві пристрою (установки).

Годинна тарифна ставка розраховується, виходячи з величини місячного окладу спеціаліста:

$$T_{Гi} = \frac{T_{Мi}}{Вф_i \cdot 4} = \frac{6700}{45 \cdot 4} = 37,22 \text{ грн.}$$

Де:

- $T_{Мi}$ – місячний оклад (ставка) спеціаліста, грн;
- $Вф_i$ – фактично відпрацьований час за розрахунковий період (місяць), днів.

Розрахуємо основну заробітну плату:

$$З_о = \sum_{i=1}^n T_{Гi} \cdot Нч_i \cdot n = 37,22 \cdot 2 \cdot 1 = 74,44 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата (10÷30% від $З_о$):

$$З_д = З_о \cdot К_д = 74,4 \cdot 25\% = 18,61 \text{ грн.}$$

Де:

- $К_д$ – відсоток додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи містять відрахування від суми основної і додаткової заробітної платні за встановленими ставками:

- на державне страхування від нещасних випадків;
- на обов'язкове державне соціальне страхування на випадок безробіття;
- у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності і витратами, зумовленими народженням дитини і похованням

Загальний відсоток вищенаведених відрахувань дорівнює 37,4%.

Розрахуємо суму:

$$В_{сз} = (З_о + З_д) \cdot 37,4\% = (74,44 + 18,61) \cdot 37,4\% = 34,8 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування складають 120-150% від основної заробітної плати:

$$В_{уеу} = З_о \cdot 1,2 = 74,44 \cdot 135\% = 100,5 \text{ грн.}$$

Загально виробничі витрати визначаються із відомостей по аналізу повної собівартості виробу і в середньому можуть складати 130-250 % від основної заробітної плати.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат						83

$$B_{зв} = 3_о \cdot 130\% = 74,44 \cdot 140\% = 104,22 \text{ грн.}$$

Виробнича собівартість визначається як сума статей витрат:

$$C_B = KM + 3_о + 3_д + B_{СЗ} + B_{УЕУ} + B_{зв} = 16374,2 \text{ грн.}$$

Адміністративні витрати визначаються із відомостей по аналізу повної собівартості виробу і в середньому можуть складати 140-200% від основної заробітної плати.

$$B_A = 3_о \cdot 150\% = 74,44 \cdot 150\% = 111,66 \text{ грн.}$$

Зовнішні виробничі витрати, які мають зв'язок зі збутом виробів, складають 5-10% від виробничої собівартості:

$$B_{зв} = C_B \cdot 7\% = 16374,2 \cdot 7\% = 1146,2 \text{ грн.}$$

Повна собівартість:

$$ПС = C_B + B_A + B_{зв} = 16374,2 + 111,66 + 1146,2 = 17632,06 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1 – Калькуляція собівартості пристрою

Стаття калькуляції	Витрати, грн.
Матеріали та комплектуючі	16041,63
Витрати на основну заробітну плату	74,44
Додаткова заробітна плата	18,61
Відрахування на соціальні заходи	34,8
Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	100,5
Загальновиробничі витрати	104,22
Виробнича собівартість	16374,2
Адміністративні витрати	111,66
Витрати на збут	1146,2
Повна собівартість пристрою	17632,06

Прибуток визначається виходячи з нормативу (показника) рентабельності виробництва продукції, який встановлює підприємство

$$R = \frac{П}{C} \cdot 100\%$$

Відповідно оптова ціна пристрою визначається:

$$C_{opt} = C + \frac{R \cdot C}{100} = 17632,06 + \frac{17632,06 \cdot 0,35}{100} = 17693,8 \text{ грн.}$$

Визначення відпускної ціни пристрою. Відпускна ціна включає податок на додану вартість в розмірі 20%:

$$C_{розд.} = C_{opt.} + 20\% = 17693,8 + 20\% = 21232,56 \text{ грн.}$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		85

ВИСНОВОК

Виконуючи дану кваліфікаційну роботу, проаналізувавши достатню кількість джерел, було визначено напрям написання теми.

За допомогою огляду літератури була визначена та поставлена задача: «Розробити систему мережевого доступу на базі технологій 5G, за допомогою якої повинно забезпечуватися функціонування інформаційних мереж з використанням даної технології, покращення швидкості та стабільності обміну інформацією між абонентами мережі».

Маючи достатню кількість інформації, було розроблено алгоритм функціонування мережі, структурну, функціональну та принципову електричні схеми пристрою на базі модуля SIM8300G-M2 для системи мережевого доступу на базі технологій 5G.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		86

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. [¿Cuál es el estado actual de las redes 5G en todo el mundo? - Smart Travel News](#)
2. <https://www.huawei.com/en/>
3. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/private-5g-core/key-components-of-a-private-mobile-network>
4. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/private-5g-core/private-5g-core-overview>
5. <https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>
6. <https://tejasnetworks.com/articles/5g-networks-trends-and-challenges>
7. <https://www.tutorialspoint.com/5g-technology-what-is-how-does-it-work>
8. <https://openairinterface.org/use-cases/heterogeneous-networks/>
9. [Quectel_RM520N-Series_5G_Specification_V1.1.pdf](#)
10. https://www.quectel.com/wp-content/uploads/2021/09/Quectel_RG50xQ_Series_5G_Specification_V1.5.pdf
11. https://www.tutorialspoint.com/5g/5g_architecture.htm
12. <https://www.viavisolutions.com/en-us/5g-architecture>
13. <https://www.geeksforgeeks.org/5g-network-architecture/#courses>
14. <https://datasheetspdf.com/pdf-file/839981/RealtekMicroelectronics/ALC5616/1>
15. https://drive.google.com/file/d/19IqMyo4SzYNgxi3iLn5sC5XUTdpLwzSA/view?usp=share_link
16. Романенко Є.С., Гагіна О.М. Система збору даних із використанням технології WIMAX : ФЕЕ :: 2021.
17. Романенко Є.С., Гагіна О.М., Погуляй О.Р. Коди Фібоначчі в системах обробки інформації : ФЕЕ :: 2021.

ДОДАТОК А

Система збору даних із використанням технології WIMAX

Бережна О.В., доцент; Протасова Т.О., ст. викладач;
Романенко Є.С., студентка; Гагіна О.М., студентка
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розвиток сучасних індустріальних автоматизованих систем, до складу яких входить значна кількість засобів автоматизації, розташованих на значній території, інфраструктура якої не дозволяє створити провідну або оптичну систему передачі даних, потребує впровадження ефективних безпроводних систем передачі даних.

Для створення магістральних мереж передачі даних на значні відстані використовуються сервіси пакетної радіопередачі GPRS та EDGE. Рішення проблем «останньої милі» здійснюється із використанням технологій WiFi, Zigbee та LoraWAN, які передають дані на незначні відстані та мають ефективну проникаючу здатність.

Всі перелічені технології мають достатньо низьку швидкість передачі даних (до 40 Кбіт/сек) та не дозволяють мультиплексувати канали зв'язку для тих засобів автоматизації, які розташовані на значній території та не в зоні прямої видимості.

Дослідження показали, що найбільш ефективним рішенням для таких об'єктів автоматизації є використання маршрутизаторів із технологією WiMAX. Ця технологія широкосмугового бездротового зв'язку забезпечує високошвидкісні з'єднання на великих відстанях навіть за відсутності прямої видимості об'єкта на відбитому сигналі. На рівні «останньої милі», маршрутизатор дозволяє розгортати точки бездротового доступу за технологіями WiFi, Zigbee та LoraWAN.

Архітектура такого маршрутизатора дозволяє забезпечувати зони покриття в умовах відсутності прямої видимості від клієнтського обладнання до базової станції, функції ретрансляції, маршрутизації, самоорганізації та самовідновлення мережевої топології із наданням можливості засобам

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		88

автоматизації знаходити друг друга та встановлювати між собою нові маршрути при передачі даних.

Безпроводні мультитехнологічні маршрутизатори дозволять як на магістральному рівні, так і на рівні «останньої милі» створити безпроводні мережі з оптимальними вартостями їх розгортання та володіння, які працюватимуть на значні відстані в індустріальних умовах зі значною швидкістю з високою проникаючою здатністю.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		89

ДОДАТОК В

Коди Фібоначчі в системах обробки інформації

Борисенко О.А., професор, Бережна О.В., доцент,
Романенко Є.С., студентка, Гагіна О.М., студентка,
Погуляй О.Р., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розвиток інформаційного суспільства залежить від ефективності використання «розумних» систем на базі реалізації розподілених обчислювань. Ефективне вирішення цієї актуальної задачі залежить від алгоритмів, які забезпечують високу надійність та швидкість при обчислюванні та передачі даних, захист обладнання від завад та збоїв.

Використання в якості завадостійких кодів, наприклад, потужних циклічних кодів забезпечує досить високу достовірність інформації в телекомунікаційних системах. Але ці роздільні коди забезпечують завадостійку передачу інформації, а не її обробку. По-друге, такі завадостійкі коди не виконують контроль правильності роботи джерела інформації, обчислювальної системи або цифрового автомата.

У роботі проведено обґрунтування використання завадостійких нероздільних кодів Фібоначчі для здійснення наскрізного контролю інформації в завадостійких системах обробки та передачі інформації. Важливою властивістю коду є те, що його кодові комбінації являють собою числа відповідної системи числення, над якими можна виконувати арифметико-логічні операції в обчислювальному пристрої.

Крім того, код Фібоначчі характеризується простотою алгоритмів виявлення та виправлення помилок. Ознакою помилки в кодової комбінації є наявність двох, трьох та більше одиниць поспіль. Поява трьох одиниць, що стоять поруч, дозволяє виправляти одиночну помилку шляхом інвертування одиниці, що розташована всередині. Ця особливість дозволяє здійснювати самоконтроль працездатності цифрового автомата Фібоначчі при обробці даних, усувати збої в його роботі без додаткового обладнання та часу, виправляти помилки без організації перезапиту під час інформаційного обміну даними.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		90

№ з\п	Найменування комплектуючого	К-ть	Примітки
Мікросхеми			
DD3	SIM8300G-M2	1	
DD4	ALC5616	1	
DD1	CAT24MO1 I2C Device	1	
	USB Host	3	
X1	Type-C CC Detector	2	
X2	Type-C USB	1	
DD2	PI3DBS12212A	1	
X3	Processor USB Int.	1	
X4	(U)SIM Socket XNT-0211BAG06A	1	
X5	Processor PCIe Int.	1	
Резистори			
R4	ОМЛТ-0,5 10кОм(±5%)	1	
R1,R2	C2-29B-0,125Вт 100кОм(±0,2%)	2	
R8	ОМЛТ-1 2,2кОм(±5%)	1	
R5,R6,R7,R9,R10	Резистор(±5%) 0,25Вт 0,0 Ом	5	
Конденсатори			
C13,C14	K53-4A 1мкФ 30В, 10%	2	
C5,C4,C2,C3,C1	220nF 250V ±10%	4	
C6	КТ-1, М47 33pF±10%	1	
C11,C12	K53-4A, 2,2мкФ 30В ±10%	2	
C7,C8,C9,C10	КТ-1, М47 22pF±10%	4	
Інше			
M	Мікрофон	1	
D	Аудіо	1	

ЕЛІТ 8.171.00.10.409 ПЕЗ				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб.</i>	Гагіна О.М			
<i>Провер.</i>	Бережна О.В.			
<i>Реценз.</i>				
<i>Н. Контр.</i>	Гапич В.М			
<i>Утверд.</i>	Опанасюк А.С.			
Система мережевого доступу на базі технологій 5G <i>Перелік елементів</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>
				91
			<i>Листов</i>	1
<i>СумДУ, гр. ЕС.м-11</i>				