

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно - інформаційних технологій та автоматизації
 (повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
 (повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри автоматики та
 телекомунікацій

_____ Валерій ПОЦЕПАСВ
 (підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 2023 р.

Випускна кваліфікаційна робота
бакалавра
 (освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка рішення з покращення покриття мережі GSM на звільнених територіях та на територіях що межують з зоною бойових дій в Донецької області»

Виконав : студент 4 курсу, групи ТКР-19
 (шифр групи)

спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніка
 (шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ Зеленський Олександр Миколайович _____
 (прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник ст. викл. каф. АТ _____ Гліб СТУПАК
 (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент к.т.н., доц., доц. каф ЕТ _____ Олександр ШТЕПА
 (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

Дар'я ЖУКОВСЬКА

26.06.2023 р.

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
 роботі немає запозичень з праць інших авторів
 без відповідних посилань.*

Студент _____
 (підпис)

Луцьк – 2023 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

тема «Розробка рішення з покращення покриття мережі GSM на звільнених територіях та на територіях що межують з зоною бойових дій в Донецької області»

Виконавець, студент

гр. ТКР–19

Олександр ЗЕЛЕНСЬКИЙ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Гліб СТУПАК

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Ганна ТЕЛИЧКО

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Анна ВОРОПАЄВА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Луцьк – 2023 р.

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
 Кафедра Автоматика та телекомунікації
 Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
 Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**В.о. завідувача кафедри АТ
Валерій ПОЦЕПАЄВ**

« ____ » _____ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Зеленський Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка рішення з покращення покриття мережі GSM на звільнених територіях та на територіях що межують з зоною бойових дій в Донецької області»

керівник проекту (роботи) Ступак Гліб Володимирович

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 05.05.2023 року № 175

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Характеристика мереж мобільного зв'язку. _____

2) Перспективні напрямки розвитку мереж мобільного зв'язку. _____

3) Технології розподілу частотного ресурсу та кодування. _____

4) Аналіз та дослідження технологій багатоантенного доступу. _____

5) Налаштування основних параметрів модемного з'єднання для MIMO. _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
структурна схема GSM мережі, схема MIMO, частотний план, схема кодування

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Ступак Г.В., ст. викл каф. АТ		
2	Воропаєва А.О, доц. каф. АТ		
3	Теличко Г.О., доц. каф. АТ		
нормоконтроль	Жуковська Д.О., ас. каф. АТ	-	26.06.2023р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Характеристика мереж мобільного зв'язку	05.05.2023	
2	Перспективні напрямки розвитку мереж мобільного зв'язку	08.05.2023	
3	Технології розподілу частотного ресурсу та кодування	13.05.2023	
4	Аналіз та дослідження технологій багатоантенного доступу	20.05.2023	
5	Налаштування основних параметрів модемного з'єднання для MIMO	10.06.2023	
6	Оформлення роботи.	15.06.2023	

Студент

_____ (підпис)

Олександр ЗЕЛЕНСЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Гліб СТУПАК

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Зеленський Олександр Миколайович. Розробка рішення з покращення покриття мережі GSM на звільнених територіях та на територіях що межують з зоною бойових дій в Донецької області / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2023.

Пояснювальна записка: 72 стор., 14 рис., 2 табл., 20 посилань.

У випускній кваліфікаційній роботі автором запропоновано рішення з підвищення рівня проникнення телекомунікаційних послуг на території в зоні бойових дій та на звільнених територіях, зокрема відновлення та розширення покриття мережами операторів мобільного зв'язку з мінімальними капіталовкладеннями з урахуванням зруйнованої телекомунікаційної інфраструктури та інженерних мереж. Основна ідея полягає в розширенні покриття за рахунок впровадження багатоантенних способів прийому/передачі. В роботі автором приведені необхідні переналаштування програмного забезпечення модемного устаткування для можливості роботи в таких умовах.

Ключові слова: БЕЗПРОВОДОВА МЕРЕЖА, GSM, МІМО, АНТЕНА, ПОКРИТТЯ, ПОКОЛІННЯ, АТ-КОМАНДИ, МОДЕМ, КОДУВАННЯ, МОДУЛЯЦІЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД СТАНДАРТІВ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ	10
1.1 Мережі GSM	10
1.2 Фази розвитку GSM.....	12
1.3 Переваги та недоліки GSM	15
1.4 Перспективи розвитку GSM	17
Висновки до розділу 1	25
2. ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ І РОБОТИ GSM-МЕРЕЖІ.....	26
2.1 Розподіл частотного діапазону і складові системи.....	26
2.2 Компоненти та архітектура підсистеми доступу	30
2.3 Радіочастотне планування та кодування голосового трафіку.....	33
2.4 Організація фізичних і логічних каналів.....	35
Висновки до розділу 2.....	43
3. ВИКОРИСТАННЯ МІМО ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОКРИТТЯ ТА ПРОНИКНЕННЯ ПОСЛУГ GSM.	44
3.1 Про технології багатоантенного доступу.....	44
3.2 Математичні модель функціонування МІМО.....	47
3.3 Ефективний розподіл потужності.....	50
Висновки до розділу 3.....	63
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТК А –Лістинг програми.....	68

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку телекомунікацій пов'язані з появою нових послуг та сервісів, що є більш вимогливими до існуючих мереж. З кожним днем ці послуги стають більш актуальними серед користувачів. Таким чином, побудова сучасної мультисервісної бездротової мережі є дуже вигідним рішенням для існуючих провайдерів, гарантуючи залучення ще більшої кількості абонентів, а значить й збільшення прибутків.

Останнім часом в Україні прогнозується збільшення попиту на додаткові послуги стільникового зв'язку й особливо передачі даних Інтернет.

У зв'язку з цим саме поняття мереж наступного, третього, покоління (3G) нерозривно пов'язано зі створенням універсальних мобільних мультимедійних мереж передачі інформації.

На сьогоднішній день Україна має у своєму розпорядженні зовнішні канали зв'язку з достатньою пропускнуою здатністю; практично в кожному населеному пункті є провайдери послуг доступу в зовнішню мережу, однак з'єднання між ними й кінцевим споживачем дотепер здійснюється в основному або по комутованих, або по виділених лініях. Як результат – низька швидкість обміну інформацією, ненадійність з'єднання, обмежені можливості підключення. Досить значною проблемою є прокладка кабельних ліній, часом вона неможлива, незручна й економічно недоцільна, особливо у великих містах. Актуальними також є питання впровадження нових технологій у сучасні телекомунікаційні мережі. Основною вимогою для проектування такої мережі є вибір найбільш вигідної і якісної мобільної технології. Останнім часом у сфері телекомунікацій широко стало розглядатися поняття мереж наступного, третього, покоління на основі технології HSPA та використання фемтостієників на рівні «останньої милі».

Актуальність проведення розробки полягає в необхідності покращення якості зв'язку в мобільних мережах в прифронтових територіях.

Мета даної роботи покращення якості зв'язку за рахунок впровадження багатоантенних технологій доступу.

Об'єкт виступає мережа мобільного зв'язку.

Предметом є спосіб доступу.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- провести аналіз розвитку мереж;
- визначити пріоритетні технологія для покращення якості та зони покриття;
- провести розробку схем;
- довести доцільність впровадження обраного шляху розбудови.

Методи й засоби розробки: порівняльний аналіз, дослідження, моделювання, програмування, синтез.

Структура та обсяг роботи. Випускна кваліфікаційна робота обсягом 72 машинописних сторінок, складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліка використаних джерел, що складається з 20 найменувань. Робота містить 14 рисунків, 2 таблиць.

1. ОГЛЯД СТАНДАРТІВ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Мережі GSM

GSM на сьогоднішній день є найбільш поширеним стандартом зв'язку. За даними асоціації GSM (GSMA), на даний стандарт припадає 82% світового ринку мобільного зв'язку, 29% населення земної кулі використовує глобальні технології GSM. В даний час GSMA включає операторів понад 210 країн та територій.

GSM спочатку означало Groupe Spécial Mobile За назвою групи аналізу, яка створювала стандарт. Тепер він відомий як Global System for Mobile Communications (Глобальна система для мобільного зв'язку), хоча слово «зв'язок» не включається в скорочення. Розробка GSM розпочалася в 1982 році групою з 26 європейських національних телефонних компаній. Європейська конференція поштових і телекомунікаційних адміністрацій (CEPT) прагнула побудувати єдину для всіх європейських країн стільникову систему діапазону 900 МГц. Досягнення GSM стали " одними з найбільш переконливих демонстрацій, яке співробітництво в європейській промисловості може бути досягнуто на глобальному ринку».

У 1989 році Європейський інститут телекомунікаційних стандартів (ETSI) взяв на себе відповідальність за подальший розвиток GSM. У 1990 році були опубліковані перші рекомендації. Специфікація була опублікована в 1991 році.

Комерційні мережі GSM почали діяти в європейських країнах в середині 1991 р GSM розроблений пізніше, ніж аналоговий стільниковий зв'язок і в багатьох відношеннях була краще спроектована. Північноамериканський аналог-PCS-виростив зі своїх коренів стандарти, включаючи цифрові технології TDMA і CDMA, але для CDMA потенційне поліпшення якості обслуговування так і не було ніколи підтверджено.

GSM-900 - глобальний стандарт цифрового мобільного стільникового зв'язку з поділом каналів за часом (TDMA) і частотою (FDMA). Розроблено під егідою Європейського інституту стандартизації електрозв'язку (ETSI) наприкінці 1980-х років.

GSM відноситься до мереж другого покоління (2 Generation) (1G — Аналоговий стільниковий зв'язок, 2G — цифровий стільниковий зв'язок, 3G — широкосмуговий цифровий стільниковий зв'язок, комутований багатоцільовими комп'ютерними мережами, в тому числі Інтернет).

Мобільні телефони випускаються з підтримкою можливості роботи в діапазонах 4 частот: 850, 900, 1800, 1900 МГц (хоча б в одній з перерахованих смуг). Для прийому і передачі інформації оператори мобільного зв'язку використовують пару частот, що називаються абсолютним радіочастотним номером каналу.

Залежно від кількості діапазонів, мобільні телефони поділяються на класи та варіації частот залежно від регіону використання, оскільки історично різні діапазони частот стандартизовані в різних частинах світу для мереж GSM. Телефони бувають:

Однодіапазонні (Single-band) — телефон може працювати в одній смузі частот. В даний час не випускаються, але існує можливість ручного вибору певного діапазону частот в деяких моделях телефонів, наприклад Motorola C115, або за допомогою інженерного меню телефону.

Двохдіапазонні (Dual-band) — 900/1800 МГц (для Європи, Азії, Африки, Австралії — в цьому регіоні стандартизовані ці 2 діапазони частот для GSM мереж), або 850/1900 МГц (для Америки і Канади — в Західній півкулі прийняті відмінні від Європи та іншого світу діапазони частот, оскільки до моменту прийняття європейського стандарту в Новому Світі смуги радіочастот 900 і 1800 МГц вже були розподілені під інші цілі).

Тридіапазонні (Tri-band) — 900/1800/1900 МГц (для Європи, Азії, Африки, Австралії) і 850/1800/1900 МГц (для Америки і Канади).

Чотирьохдіапазонні (Quad-band) — 850/900/1800/1900 МГц, які підтримують всі діапазони частот (тобто такі телефони універсальні — вони можуть працювати практично в будь-якій точці світу, де є будь-яка GSM мережа).

У стандарті GSM застосовується GMSK-модуляція з величиною нормованої смуги $BT=0,3$, де B — ширина смуги фільтра за рівнем мінус 3 дБ, T — тривалість одного біта цифрового повідомлення.

1.2 Фази розвитку GSM

GSM Phase 1

1982 (Groupe Spécial Mobile) - 1990 р. Global System for Mobile Communications. Перша комерційна мережа в січні 1992 р цифровий стандарт, підтримує швидкість передачі даних до 9,6 Кбіт/с. повністю застарів, Виробництво обладнання під нього припинено.

У 1991 році були введені послуги стандарту GSM «Phase 1». У них входять:

- Переадресація виклику (Call forwarding). Можливість переведення вхідних дзвінків на інший телефонний номер в тих випадках, коли номер зайнятий або абонент не відповідає; коли телефон вимкнений або знаходиться поза зоною дії мережі і т.п. крім того, можлива переадресація факсів і даних.
- Заборона виклику (Call barring). Заборона на всі вхідні / вихідні дзвінки; заборона на вихідні міжнародні дзвінки; заборона на вхідні дзвінки, за винятком внутрішньомережевих.
- Очікування виклику (Call waiting). Ця послуга дозволяє прийняти вхідний дзвінок під час розмови, яка вже триває. При цьому перший абонент або як і раніше буде перебувати на зв'язку, або розмова з ним може бути завершений.

- Утримання виклику (Call holding). Ця послуга дозволяє, не розриваючи зв'язок з одним абонентом, зателефонувати (або відповісти на вхідний дзвінок) іншому абоненту.
- Глобальний роумінг (Global roaming). При відвідуванні будь-якої з країн, з якою ваш оператор підписав відповідну угоду, ви можете користуватися своїм стільниковим телефоном GSM без зміни номера.

Стандарт GSM Phase 2 був прийнятий у 1993 році цифровий стандарт, підтримує швидкість передачі даних до 9,6 Кбіт/с.з 1995 року він включає діапазон 1900 МГц. Другий етап розвитку GSM-GSM " Phase 2", який завершився в 1997 р., передбачав такі послуги:

- Визначення номера лінії, що викликає (Calling Line Identification Presentation). При вхідному дзвінку на екрані висвічується номер абонента.
- Антивизначник номера (Calling Line Identification Restriction). За допомогою цієї послуги можна заборонити визначення власного номера при з'єднанні з іншим абонентом.
- Груповий виклик (Multi party). Режим телеконференції або конференц-зв'язку дозволяє об'єднати до п'яти абонентів в групу і вести переговори між усіма членами групи одночасно.
- Створення закритої групи до десяти абонентів (Closed User Group). Дозволяє створювати групу користувачів, члени якої можуть зв'язуватися тільки між собою. Найчастіше до цієї послуги вдаються компанії, що надають термінали своїм службовцям для роботи.
- Інформація про вартість розмови. Сюди входять таймер, який підраховує час на лінії, і лічильник дзвінків. Також завдяки цій послугі можна перевіряти залишився на рахунку кредит. Можлива й інша послуга:» Рада з оплати " (Advice of Charge). На вимогу

користувача відбувається перевірка вартості і тривалості розмови в той час, коли апарат знаходиться на зв'язку.

- Обслуговування додаткової лінії (Alternative Line Service). Користувач може придбати два номери, які будуть приписані до одного модуля SIM. В цьому випадку зв'язок виконується по двох лініях, з наданням двох рахунків, двох голосових скриньок і т. п.
- Короткі текстові повідомлення (Short Message Service). Можливість прийому і передачі коротких текстових повідомлень (до 160 знаків).
- Система голосових повідомлень (Voice Mail). Послуга дозволяє автоматично переводити вхідні дзвінки на персональний автовідповідач (голосова пошта). Користуватися цим можна тільки в тому випадку, якщо у абонента активізована послуга «переадресація викликів».

Стандарт GSM Phase 2 вважається застарілим; але так як стандарт GSM має на увазі зворотну сумісність, то старе обладнання базових станцій і телефони можуть працювати (і працюють) в сучасних мережах.

Наступний етап розвитку мереж стандарту GSM Phase 2+ не пов'язаний з конкретним роком впровадження. Нові послуги та функції стандартизуються та впроваджуються після підготовки та затвердження їх технічних описів. Всі роботи по етапу Phase 2+ проводилися Європейським інститутом стандартизації електрозв'язку (ETSI). Кількість вже впроваджених і знаходяться в стадії затвердження послуг перевищує 50. Серед них можна виділити наступні:

- покращене програмне забезпечення SIM-карти;
- покращене повношвидкісне кодування мови EFR (Enhanced Full Rate);
- можливість взаємодії між системами GSM і DECT;
- підвищення швидкості передачі даних завдяки пакетній передачі даних GPRS (General Packet RadioService) або за рахунок системи передачі даних по комутованих каналах HSCSD (High Speed Circuit Switched Data).

GSM забезпечує підтримку наступних послуг:

- Послуги передачі даних (синхронний і асинхронний обмін даними, в тому числі пакетна передача даних — GPRS). Дані послуги не гарантують сумісності термінальних пристроїв і забезпечують тільки передачу інформації до них і від них.
- Передача мовної інформації.
- Передача коротких повідомлень (SMS).
- Передача факсимільних повідомлень.

Додаткові (необов'язкові до надання) послуги:

- Визначення абонентського номера та обмеження такого визначення.
- Безумовна і умовна переадресація виклику на інший номер.
- Очікування і утримання виклику.
- Конференц-зв'язок (одночасний Мовний зв'язок між трьома і більше рухомими станціями).
- Заборона на визначені користувачем послуги (міжнародні дзвінки, роумінгові дзвінки та ін.)
- Голосова пошта.
- Багато інших послуг.

1.3 Переваги та недоліки GSM

Переваги стандарту GSM:

- Менші, в порівнянні з аналоговими стандартами (NMT-450, AMPS-800), розміри і вага телефонних апаратів при більшому часу роботи без підзарядки акумулятора. Це досягається в основному за рахунок апаратури базової станції, яка постійно аналізує рівень сигналу, що приймається від апарату абонента. У тих випадках, коли він вище

необхідного, на стільниковий телефон автоматично подається команда знизити випромінювану потужність.

- Хороша якість зв'язку при достатній щільності розміщення базових станцій.
- Велика ємність мережі, можливість великого числа одночасних з'єднань.
- Низький рівень індустріальних перешкод в даних частотних діапазонах.
- Покращена (в порівнянні з аналоговими системами) захист від підслуховування і нелегального використання, що досягається шляхом застосування алгоритмів шифрування з розділеним ключем.[уточнивши]
- Ефективне кодування (стиснення) мови. EFR-технологія була розроблена фірмою Nokia і згодом стала промисловим стандартом кодування / декодування для технології GSM (див. GSM-FR, GSM-HR і GSM-EFR)
- Широке поширення, особливо в Європі, великий вибір обладнання.
- Можливість роумінгу. Це означає, що абонент однієї з мереж GSM може користуватися стільниковим телефонним номером не тільки у себе «вдома», але і переміщатися по всьому світу, переходячи з однієї мережі в іншу, не розлучаючись зі своїм абонентським номером. Процес переходу з мережі в мережу відбувається автоматично, і користувачеві телефону GSM немає необхідності заздалегідь повідомляти оператора (в мережах деяких операторів можуть діяти обмеження на надання роумінгу своїм абонентам, більш детальну інформацію можна отримати, звернувшись безпосередньо до свого GSM-оператора)

Недоліки стандарту GSM:

- Спотворення мови при цифровій обробці і передачі.

- Зв'язок можливий на відстані не більше 120 км[4][5] від найближчої базової станції навіть при використанні підсилювачів і спрямованих антен. Тому для покриття певної площі необхідна більша кількість передавачів, ніж в NMT-450 і AMPS.
- Стандарти GSM створюються та публікуються Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів. Документи позначаються GSM NN.nn, наприклад широко відомий стандарт на GSM SIM-картки GSM

1.4 Перспективи розвитку GSM

Існуючий стандарт GSM забезпечує послуги телефонного зв'язку (12,2 кбіт/с, тип кодеку AMR), і передачі даних зі швидкістю від 9,6 кбіт/с (CSD) до 236,8 кбіт/с (EDGE) і ймовірністю помилки (Bit Error Rate – BER) менше 10^{-2} і 10^{-8} відповідно. Будь-який подальший розвиток каналів даних може, в принципі, йти таким самим шляхом, як й розвиток мовних каналів, тобто шляхом поліпшення якості інформації, що передається (зменшення ймовірності помилки), збільшення ємності систем і зменшення розміру стільників. Однак у випадку передачі даних збільшення ємності в першу чергу передбачає підвищення ефективності використання низьких за пропускну здатністю радіоканалів, підвищення використання радіоресурсів, значне збільшення швидкостей передачі як від абонента, так і до нього.

У мережі GSM не може бути забезпечений необхідний рівень надання високошвидкісних сервісів. Для забезпечення вище заявлених послуг з необхідним рівнем якості необхідна швидкість 1–5 Мбіт/с, при цьому в районі перебуває багато міжнародних транспортних шляхів, на яких аабоненти вимагають швидкості передачі даних при русі не менше, ніж 1 Мбіт/с, використовуючи послуги навігації й потокового цифрового телебачення.

По технічних параметрах для передачі даних система UMTS/HSPA виграє у EDGE/GSM. Мережа передачі даних на базі технології HSPA значно перевершує EDGE по швидкості передачі як в умовах низької (14,4 Мбіт/с проти 236,8 кбіт/с), так і в умовах високої мобільності (7,7 Мбіт/с проти 128 кбіт/с), а це означає, що якість послуг передачі даних буде значно вище.

У мережі GSM при оцінці енергетичного балансу радіолінії DL виходимо з того, що при швидкості передачі даних базовою станцією 236,8 кбіт/с розмір зони обслуговування повинен бути таким же, як і у радіолінії UL, що працює зі швидкістю передачі даних 9,6 кбіт/с. Оскільки на каналах DL використовується вся потужність базової станції для зв'язку з одною абонентською станцією, то розмір зони обслуговування базової станції обмежений каналами UL. У такий спосіб при радіусі стільника більше 200 м швидкість передачі даних буде нестійкою та коливатися в межах від 9,6 до 144 кбіт/с, що не відповідає вимогам як сучасної мобільної мережі передачі даних, так і сучасним телекомунікаціям в цілому.

Пропускна здатність і ємність системи UMTS/HSPA при передачі пакетних даних буде залежати від кількості користувачів, які з поділом у часі використовують основні та додаткові канали; відносних положень мобільних абонентів у межах зони обслуговування (чим ближче абонентська станція перебуває до центра стільника, тим з більшою швидкістю передачі даних вона може отримати обслуговування). Тому при радіусі стільника більше 200 м буде забезпечена швидкість у середньому 1–2 Мбіт/с.

Часто обмін інформацією буде проходити через Інтернет, що вимагає ефективної обробки трафіку TCP/UDP/IP у мережі UMTS/HSPA. У мережі UMTS/HSPA функції забезпечення якості обслуговування (QoS) реалізовані на основі підтримки протоколу IPv6, і тому додатки, критичні до затримки пакетів, такі як передача мови, відеотелефонія, телебачення, будуть здійснюватися із забезпеченням необхідного QoS.

У порівнянні з GSM і іншими наявними на сьогоднішній день мережами мобільного зв'язку UMTS/HSPA має нову й важливу особливість, а саме,

дозволяє погоджувати характеристики радіоканалу доступу. Характеристиками передачі, що потребують погодження, можуть служити пропускна здатність, затримка при передачі й імовірність появи помилок у даних. Щоб система успішно працювала, UMTS/HSPA підтримує широкий спектр додатків, що задовольняє самим різним вимогам до якості обслуговування QoS. Канали HSPA, по яких передається інформація мають загальний характер, дозволяють добре забезпечувати існуючі додатки й сприяти розвитку нових додатків.

Обґрунтуємо вибір технології HSPA у порівнянні з іншими технологіями радіодоступу – EDGE, CDMA-2000, LTE, Wi-Max, ґрунтуючись на аналітичних даних [2]. Зведені дані дослідження занесені в таблицю 1.1 і представлені на рисунках 1.1–1.4.

Таблиця 1.1 – Результати аналізу перспектив впровадження/розвитку 2G–4G технологій в Україні

	EDGE	EDGE, class32	CDMA- 2000	UMTS/ WCDMA	UMTS/ HSPA	UMTS/ HSPA+	LTE	Wi-MAX
Швидкість DL, Мбіт/с	0,236	0,474	3,1	0,384	14,4	84	326	128
Швидкість UL, Мбіт/с	0,096	0,096	1,8	0,128	5,76	23	86	26
Рівень складності при плануванні (від 1 до 10)	1	1	3	5	5	5	10	8
Капіталовкладення в інфраструктуру мережі (від 1 до 10)	2	2	5	5	7	7	8	10
Наявність частотного ресурсу в Україні (кількість доступних смуг частот 5 МГц FDD)	0	0	3	3	3	3	3	2
Кількість необхідних смуг частот 5 МГц	2	2	3	3	3	3	4	2
Щільність базових станцій (від 1 до 10)	5	5	5	7	9	9	10	10
Окупність (від 1 до 10)	7	7	3	3	10	8	2	1
Наявність абонентських терміналів (кількість доступних в Україні)	1356	854	543	345	567	12	2	4

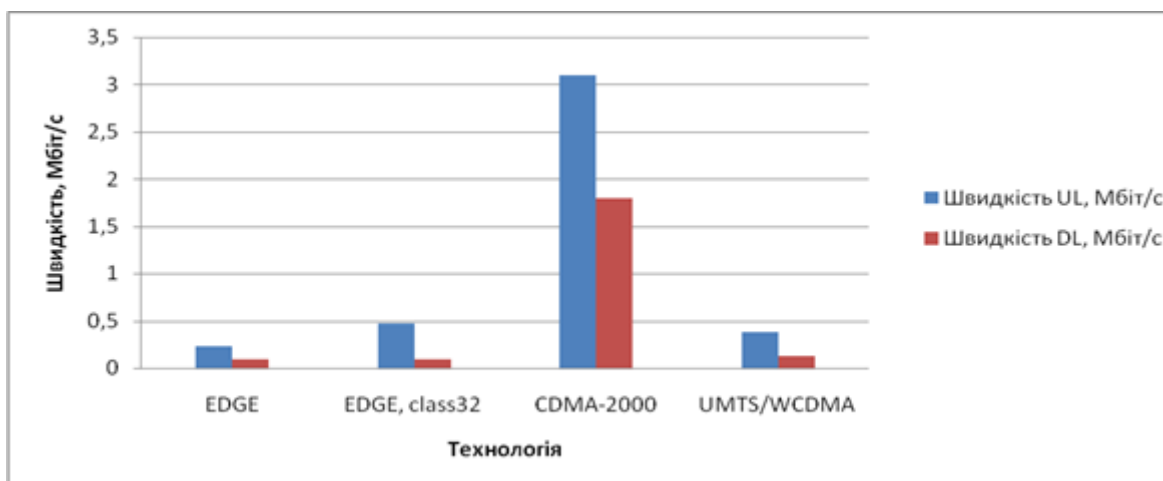


Рисунок 1.1 – Швидкість в Uplink і Downlink для технологій 2,5G–3G

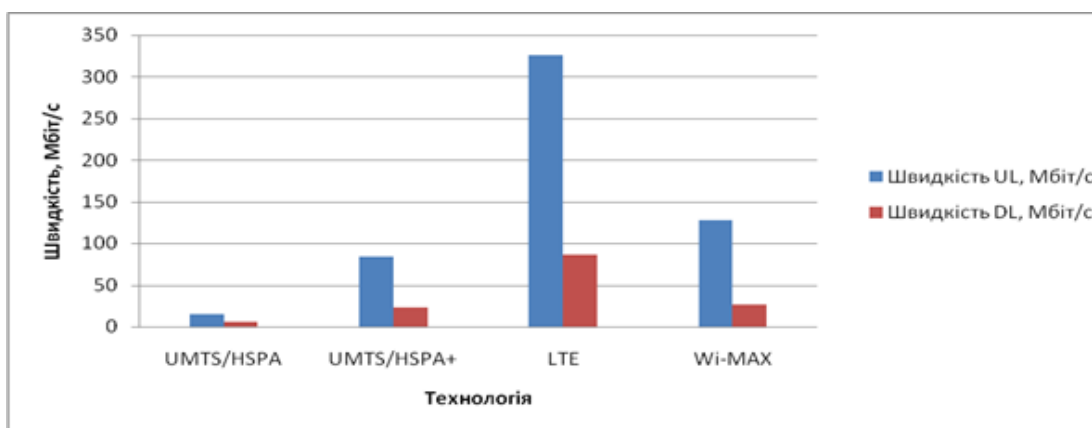


Рисунок 1.2 – Швидкість в Uplink і Downlink для технологій 3,5G–4G

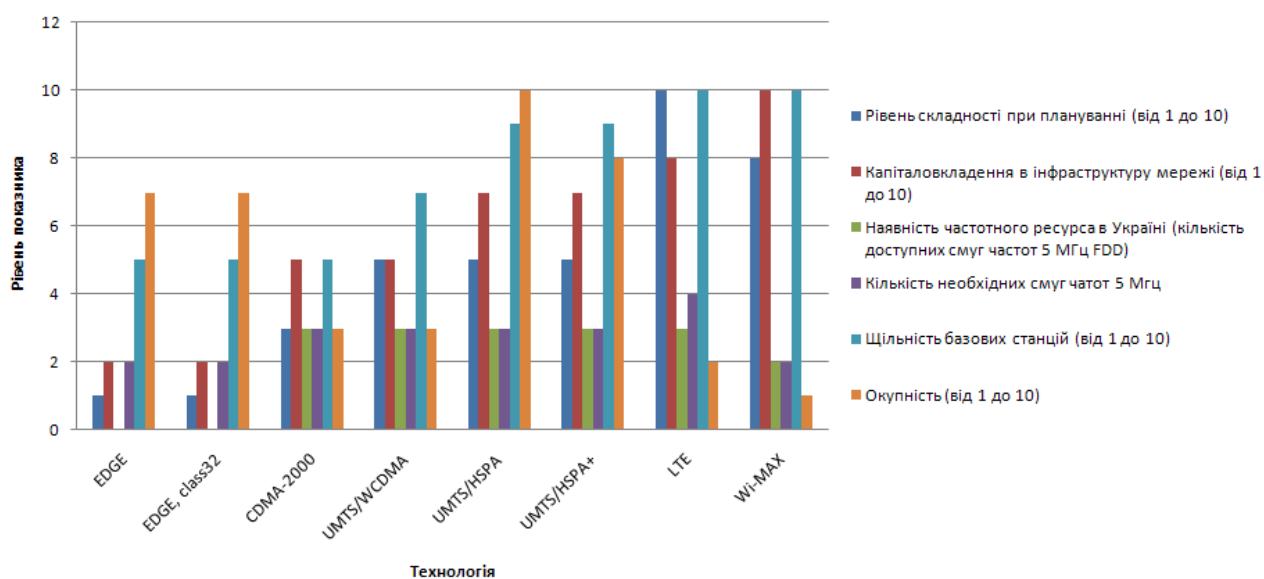


Рисунок 1.3 – Порівняльний аналіз основних характеристик впровадження/розвитку мереж 2G/3G/4G

Як показує аналіз основних характеристик мереж 2G/3G/4G, найбільші швидкості на рівні доступу зможуть забезпечити технології LTE та Wi-MAX. HSPA-HSPA+ зможуть надати користувачам доступ з максимальною швидкістю 84 Мбіт/с, що достатньо для реалізації необхідних послуг та відповідає рекомендаціям щодо розвитку мереж 3-4G: до 100 Мбіт/с на рівні доступу мобільних мереж та до 1 Гбіт/с на рівні фіксованого доступу [5]. Швидкості більше 100 Мбіт/с на рівні мобільного доступу наврядше знайдуть застосування найближчі 5-10 років. Крім того, LTE та Wi-MAX потребують більш широкої смуги частот (20 МГц та 10 МГц проти 5-15 МГц HSPA) та більших капіталовкладень, а за розрахунками так званих бізнес-кейсів операторів технологія LTE не зможе окупити себе навіть за 7 років [], тому вона буде впроваджена роками через 5 точечно у районах великих міст з підвищеним навантаженням. Технологія LTE-Advanced та Wi-MAX 802.16m можуть бути використані в майбутньому для обміну інформацією між Node-B на транспортному рівні мережі. Технології 2G взагалі не відповідають ні по одному з показників сучасному рівню розвитку телекомунікацій, особливо з точки зору потреб високошвидкісної передачі даних. Крім того, технологія UMTS/HSPA має перевагу по кількості наявних терміналів. Кількість терміналів LTE, а саме модемів, дорівнює 2. Телефонів LTE на ринку не представлено не тільки в Україні, а й в світі.

Таким чином для розробки мережі раціональним є вибір технології UMTS/HSPA, як найбільш вирогідного шляху розвитку мобільних мереж в Україні за всіма аспектами.

Мобільний зв'язок третього покоління будується на основі пакетної передачі даних. Для реалізації систем третього покоління розроблені рекомендації із глобальних уніфікованих стандартів мобільного зв'язку:

- забезпечення якості передачі мови, порівнянної з якістю передачі в провідних мережах зв'язку;
- забезпечення безпеки, порівнянної з безпекою в провідних мережах;
- забезпечення національного й міжнародного роумінгу;

- підтримка декількох місцевих і міжнародних операторів;
- ефективне використання спектра частот;
- пакетна й канална комутація;
- підтримка багаторівневих стільникових структур;
- поетапне нарощування швидкості передачі даних аж до 100 Мбіт/с.

Незважаючи на те, що кінцева мета для всієї індустрії телекомунікацій – створити єдине всесвітнє середовище мобільного зв'язку, що підтримує широкосмугові системи й забезпечує глобальну мобільність, у результаті, швидше за все, виникне деяке сімейство стандартів, що забезпечить послуги третього покоління.

Основним плюсом мереж 3G є більша швидкість передачі більших обсягів даних по радіоканалам. Доступна на сьогодні в мережах 2–2,5G технологія EDGE забезпечує передачу даних на швидкості до 473,6 кбіт/с (на практиці – удвічі, утричі нижче). У мережах третього покоління для передачі даних використовується технологія HSPA, максимальна швидкість роботи якої вимірюється вже мегабітами (14,4–84,4 Мбіт/с).

Побудова мережі UMTS/HSPA базується на ряді принципів, що визначають побудову систем 3-го покоління та їхню архітектуру. Вже на першому етапі розгортання вони повинні забезпечувати певні значення швидкості передачі для різних ступенів мобільності абонента (тобто різних швидкостей його руху) залежно від величини зони покриття:

- до 14,4 Мбіт/с при низькій мобільності (швидкість менш 3 км/год) і локальній зоні покриття;
- до 3,6 Мбіт/с при високій мобільності (до 120 км/год) і широкій зоні покриття.

У рамках концепції побудови мережі UMTS/HSPA припустимі дві стратегії переходу до 3G–систем: еволюційна й революційна (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Дві стратегії впровадження послуг 3-го покоління мобільного зв'язку

Визначальний фактор	Еволюційний підхід	Револьюційний підхід
Метод використання частотного ресурсу	Робота в старих діапазонах	Освоєння нових діапазонів
Принцип надання послуг	Поступово розширення асортименту послуг	Нові послуги з початку розгортання
Пропускна здатність	Поступове нарощування	Висока
Стратегія створення мережної інфраструктури	Повільний і поступовий перехід від 2G до 3G по мірі появи попиту на послуги	Створення мережі з повним набором послуг
Технологічний рівень	Нові технології в окремих елементах	Всі технології – новітні
Архітектура мережі	Максимальне використання існуючої інфраструктури	Нова
Комерційний ризик Склад операторів	Низький В основному ті ж самі, що й в 2G	Високий Оператори, що купили ліцензії на послуги 3G
Глобальний роумінг	З обмеженнями	Без обмежень
Капітальні витрати	Незначні	Значні

При революційному підході передбачається впровадження всіх новітніх технологій і нових інтерфейсів і повна заміна існуючого устаткування та програмного забезпечення, що пов'язано з більшими капітальними витратами й певним комерційним ризиком, але в нашій роботі ми оберемо саме цей підхід, тому що мережа UMTS/HSPA немає можливості бути побудованою на існуючих ресурсах мобільних операторів, виходячи з наступних міркувань:

- при звільненні мінімального частотного ресурсу 5 МГц у діапазоні GSM 1800 МГц drop call (обрив з'єднання на підмережі радіодоступу) збільшується до 2–3% (при необхідних 0,5–1%);
- існуючі площадки БС GSM не дають можливість розгорнути мережу UMTS/HSPA з необхідним рівнем покриття й радіусами стільників для надання послуг високої якості в будь-якій точці мережі;
- висота щогл БС GSM, на яких встановлене радіопередавальне устаткування БС не підходить для кріплення радіоустаткування UMTS/HSPA;

- існуючі транспортні мережі оператора не розраховані на навантаження від Node B на рівні потоків від 21,6 Мбіт/с (при використанні швидкості 7,2 Мбіт/с на сектор).

Пропускна здатність на рівні доступу може бути збільшена за допомогою розширення смуги частот або підвищення випромінюваної потужності. Але слід зазначити, що застосування цих методів має недоліки, тому що через вимоги біологічного захисту й електромагнітної сумісності підвищення потужності й розширення смуги частот обмежено. Тому якщо в системах зв'язку можливі підвищення випромінюваної потужності й розширення смуги частот не забезпечують необхідну швидкість передачі даних, то одним з найефективніших способів рішення цієї проблеми може бути застосування адаптивних антенних решіток зі слабо корельованими антенними елементами. Системи зв'язку, які використовують такі антени, одержали назву МІМО систем.

Крім того, при плануванні ємності БС необхідно проводити дослідження для конкретних сервісів і здійснювати радіопланування для максимальної або середньої для мережі бажаної швидкості передачі від абонента (наприклад для сервісу IPTV).

Ефективність мереж радіодоступу в значній мірі залежить від новизни технологій, які в них використовуються. Зміна поколінь, як правило, означає й зміну ідеології побудови цих мереж. Магістральні мережі більше інерційні. У них інвестовані значні кошти, і оператори бажають зберегти інфраструктуру транспортної мережі при переході до 3-го покоління. Існуючі транспортні мережі не є стримуючим чинником для впровадження сучасних 3G-послуг при умові можливості їхнього масштабування до необхідного рівня ємності.

Висновки до розділу 1

В першому розділі проведений аналіз розвитку та впровадження мереж мобільного зв'язку на території України протягом останніх кількох десятиліть. У існуючих мережах GSM не може бути забезпечений необхідний рівень надання високошвидкісних сервісів.

Як показав аналіз, для впровадження високошвидкісної бездротової мережі та підвищення якості зв'язку в умовах нестабільного і поганого покриття найбільш ефективним є вибір технології UMTS/HSPA, як найбільш вигідний шлях розвитку мобільних мереж у районі планування мережі за всіма аспектами.

Основною вимогою до мережі UMTS/HSPA є обслуговування користувачів мережі на всій зоні покриття із забезпеченням високошвидкісного доступу в офісних та житлових приміщеннях на базі фемтостільників до всіх ресурсів мережі з високим рівнем якості.

В роботі буде проведено дослідження параметрів QoS при впровадженні технології HSPA із використанням фемтостільників на території адміністративного центра міста Донецька.

2. ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ І РОБОТИ GSM-МЕРЕЖІ

2.1 Розподіл частотного діапазону і складові системи

У стандарті GSM визначені 4 діапазони роботи (ще є п'ятий). 900/1800 МГц (використовується в Європі, Азії). Характеристики GSM-900 GSM-1800:

- Частоти передачі MS і прийому BTS (uplink), МГц 890-915 1710-1785
- Частоти прийому MS і передачі BTS (downlink), МГц 935-960 1805-1880
- Дуплексний рознос частот прийому і передачі, МГц 45 95
- Кількість частотних каналів зв'язку з шириною 1 каналу зв'язку в 200 кГц 124 374
- Ширина смуги каналу зв'язку, кГц 200 200

Система GSM складається з трьох основних підсистем (рисунок 2.1):

- підсистема базових станцій (BSS-Base Station Subsystem),
- підсистема комутації (NSS-Network Switching Subsystem),
- центр технічного обслуговування (OMC-Operation and Maintenance Centre).

В окремий клас обладнання GSM виділені термінальні пристрої-рухомі станції (MS-Mobile Station), також відомі як мобільні (стільникові) телефони.

BSS складається з власне базових станцій (BTS — Base Transceiver Station) і контролерів базових станцій (BSC-Base Station Controller). Область, що накривається мережею GSM, розбита на умовні шестикутники, звані сотами або осередками. Діаметр кожної шестикутної комірки може бути різним-від 400 м до 50 км.максимальний теоретичний радіус комірки становить 120 км[4], що обумовлено обмеженою можливістю системи синхронізації до компенсації часу затримки сигналу. Кожна клітинка покривається знаходиться в її центрі однієї базовою станцією, при цьому осередки частково перекривають один одного,

тим самим зберігається можливість передачі обслуговування без розриву з'єднання при переміщенні абонента з однієї стільниці в іншу. Природно, що насправді сигнал від кожної станції поширюється, покриваючи площу у вигляді кола, а не шестикутника, останній же є лише спрощенням представлення зони покриття. Кожна базова станція має шість сусідніх у зв'язку з тим, що в завдання планування розміщення станцій входила мінімізація вартості системи. Менша кількість сусідніх базових станцій призводило б до більшого перехлесту зон покриття з метою уникнення «мертвих зон», що в свою чергу зажадало б більш щільного розташування базових станцій. Більша кількість сусідніх базових станцій призводило б до зайвих витрат на додаткові станції, в той час як виграш від зменшення зон перехлеста був би вже досить незначним.

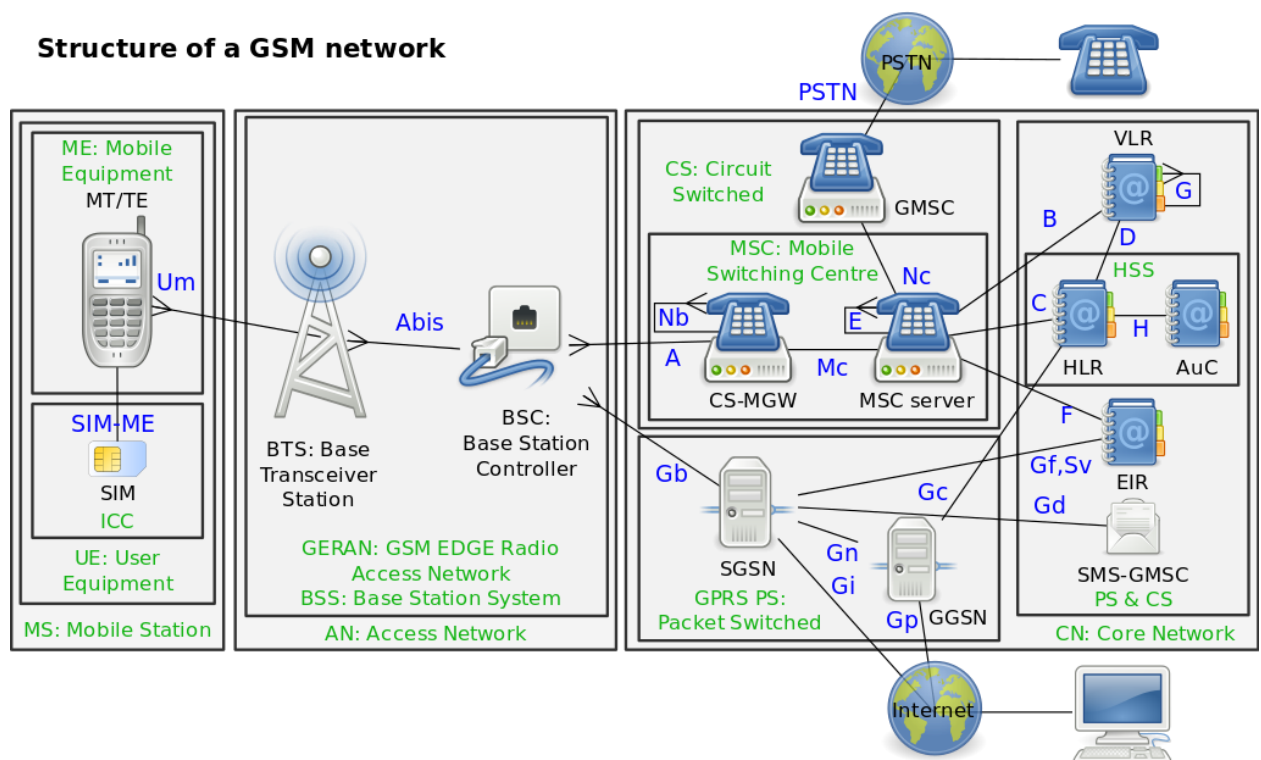


Рисунок 2.1 – Структура мережі

Базова станція (BTS) забезпечує прийом/передачу сигналу між MS і контролером базових станцій. BTS є автономною і будується за модульним принципом. Спрямовані антени базових станцій можуть розташовуватися на вишках, дахах будівель і т. д.

Контролер базової станції (BSC) контролює з'єднання між BTS та підсистемою комутації. У його повноваження також входить управління черговістю з'єднань, швидкістю передачі даних, розподіл радіоканалів, збір статистики, контроль різних радіовимірювань, призначення і управління процедурою Handover.

Підсистема комутації NSS складається з нижченаведених компонентів:

- Центр комутації (MSC — Mobile Switching Center). MSC контролює певну географічну зону з розташованими на ній BTS і BSC. Здійснює установку з'єднання до абонента і від нього всередині мережі GSM, забезпечує інтерфейс між GSM і ТфОП, іншими мережами радіозв'язку, мережами передачі даних. Також виконує функції маршрутизації викликів, управління викликами, естафетної передачі обслуговування при переміщенні MS з однієї комірки в іншу. Після завершення виклику MSC обробляє дані по ньому і передає їх в центр розрахунків для формування рахунку за надані послуги, збирає статистичні дані. MSC також постійно стежить за положенням MS, використовуючи дані з HLR і VLR, що необхідно для швидкого знаходження і встановлення з'єднання з MS в разі її виклику.
- Домашній Реєстр місцеположення (HLR-home Location Registry). Містить базу даних абонентів, приписаних до нього. Тут міститься інформація про послуги, що надаються даному абоненту, інформація про стан кожного абонента, необхідна в разі його виклику, а також міжнародний ідентифікатор мобільного Абонента (IMSI — International Mobile Subscriber Identity), який використовується для аутентифікації абонента (за допомогою AUC). Кожен абонент приписаний до одного HLR. До даних HLR мають доступ всі MSC і VLR в даній GSM-мережі, а в разі міжмережевого роумінгу — і MSC інших мереж.

- Гостьовий Реєстр місцеположення (VLR — Visitor Location Registry). VLR забезпечує моніторинг пересування MS з однієї зони в іншу і містить базу даних про переміщаються абонентів, що знаходяться в даний момент в цій зоні, в тому числі абонентів інших систем GSM — так званих роумерах. Дані про абонента видаляються з VLR в тому випадку, якщо абонент перемістився в іншу зону. Така схема дозволяє скоротити кількість запитів на HLR даного абонента і, отже, час обслуговування виклику.
- Реєстр ідентифікації обладнання (Eir-Equipment Identification Registry). Містить базу даних, необхідну для встановлення автентичності MS по IMEI (International Mobile Equipment Identity). Формує три списки: білий (допущений до використання), сірий (деякі проблеми з ідентифікацією MS) і чорний (MS, заборонені до застосування). У російських операторів (і більшої частини операторів країн СНД) використовуються тільки білі списки.

Центр аутентифікації (AUC-Authentication Center). Тут проводиться аутентифікація абонента, а точніше — SIM (Subscriber Identity Module). Доступ до мережі дозволяється тільки після проходження SIM процедури перевірки автентичності, в процесі якої з AUC на MS приходить випадкове число Rand, після чого на AUC і MS паралельно відбувається шифрування числа Rand ключем K_i для даної SIM за допомогою спеціального алгоритму. Потім з MS і AUC на MSC повертаються «підписані відгуки» — SRES (Signed Response), що є результатом даного шифрування. На MSC відповіді порівнюються, і в разі їх збігу аутентифікація вважається успішною.

Підсистема OMC (Operations and Maintenance Center) з'єднана з іншими компонентами мережі і забезпечує контроль якості роботи і управління всією мережею. Обробляє аварійні сигнали, при яких потрібне втручання персоналу. Забезпечує перевірку стану мережі, Можливість проходження виклику. Виробляє оновлення програмного забезпечення на всіх елементах мережі і ряд інших функцій.

2.2 Компоненти та архітектура підсистеми доступу

Базова станція в радіозв'язку взагалі - системний комплекс приймально-передавальної апаратури, що здійснює централізоване обслуговування групи кінцевих абонентських пристроїв.

Наприклад, під час організації зв'язку малогабаритними мобільними радіями на місцевості встановлюють стаціонарну антену і радіостанцію більш високої, ніж інші, вихідної потужності. Вона здійснює за необхідності ретрансляцію сигналу, а її оператор контролює обстановку в ефірі.

У бездротових мережах передавання даних базова станція - це приймач-передавач радіосигналу, який виконує роль концентратора в дротових локальних мережах. Зазвичай базова станція складається з малопотужного приймача та бездротового маршрутизатора.

У професійних дуплексних системах радіозв'язку базова станція використовується як центральний вузол, що виконує диспетчерські функції в мережі мобільних радіостанцій із централізованою топологією, а також як передавач повідомлень у пейджинговому зв'язку. При цьому базова станція виступає в ролі одного з кінцевих вузлів у каналі зв'язку, у ролі іншого кінцевого вузла виступає переносна радіостанція, якуносять на собі, або радіостанція, яку перевозять з собою. Прикладами базових станцій у професійному дуплексному радіозв'язку є диспетчерські центри служби таксі або служби евакуації автомобілів.

Базові станції зазвичай бувають одноканальними. У системах із радіообміном низької інтенсивності можливе використання багатоканальних базових станцій. У системах з інтенсивним радіообміном за необхідності використання додаткових каналів зазвичай встановлюють по одній одноканальній радіостанції на кожен канал. При цьому на диспетчерському пульті кожна базова станція відображається як окремий канал. У великих диспетчерських центрах із кількома диспетчерами це забезпечує незалежну одночасну роботу кількох диспетчерів на різних каналах. При цьому базові

станції можуть бути територіально віддалені як одна від одної, так і від диспетчерського центру. Як приклад наводять єдиний диспетчерський центр таксі на кілька міст. Диспетчер вибирає потрібний канал і передає інформацію автомобілям у потрібному місті.

Базові станції можуть бути з місцевим або дистанційним управлінням. Місцеве управління забезпечується локально за допомогою органів управління обладнання, встановленого на базовій станції. При дистанційному управлінні використовуються органи управління на диспетчерському пульті. Команди передаються за допомогою сигналів змінного струму тональної частоти або сигналами постійного струму у форматі 4-20 мА. Команди обробляються схемами управління на базовій станції. Зв'язок диспетчерського центру з віддаленими базовими станціями ведеться виділеним телефонним каналом або каналом радіозв'язку, відмінним від каналу зв'язку з рухомими об'єктами. Деякі системи для зв'язку диспетчерського центру з базовими станціями використовують чотирипровідні телефонні лінії або радіоканали повного дуплексного зв'язку, інші системи використовують двопровідні телефонні лінії або напівдуплексні радіоканали.

В аматорському радіозв'язку також використовуються базові станції, що забезпечують зв'язок між мобільними об'єктами. Його використовують мандрівники, далекобійники, а також інші особи, переважно для розваги та для зв'язку між членами однієї групи. Аматорський радіозв'язок також використовують для зв'язку з рятувальними службами під час надзвичайних подій, а також для екстреного оповіщення цивільного населення під час стихійних лих.

Як приклад можна навести австралійську мережу базових станцій цивільного діапазону УКХ (UHF CB), яка складається з численних базових станцій і ретрансляторів, що працюють на різних каналах, дають змогу забезпечувати виклик рятувальних і дорожніх служб, а також зв'язок між радіостанціями, розташованими в різних частинах країни.

Бездротова телефонія відрізняється від дуплексного радіозв'язку тим, що:

Бездротовий телефонний зв'язок є комутованим: за допомогою набору номера на початку розмови встановлюють канал зв'язку з абонентом, якого викликають, після того, як один з абонентів покладе слухавку, - канал розривається.

Бездротові телефони зазвичай мають зв'язок із телефонною мережею загального користування.

Базова станція в бездротовій телефонії зв'язується з бездротовим телефонним апаратом, який можна носити або возити. При цьому сигнали від одного або декількох мобільних телефонів приймаються базовою станцією, яка передає ці виклики в наземні телефонні лінії. Застосування інших видів апаратури при цьому залежить від архітектури мережі. Мобільні мережі операторів зв'язку, наприклад мережі GSM, використовують для цих цілей комутатори, радіорелейний зв'язок та автоматичну телефонну станцію. На відміну від цього базові станції побутових бездротових радіотелефонів приєднані напряму дротовим до телефонних ліній.

У стільниковому зв'язку

Базова станція стосовно стільникового зв'язку - комплекс радіопередавальної апаратури (ретранслятори, приймачі, передавачі), що здійснює зв'язок із кінцевим абонентським пристроєм - стільниковим телефоном. Одна базова станція стандарту GSM зазвичай здатна підтримувати до 12 передавачів, а кожен передавач здатний одночасно підтримувати зв'язок із абонентами, які спілкуються з 8. Комплекс розташованих поруч базових станцій утворює соту. Базові станції з'єднані з комутатором стільникової мережі через контролер базових станцій.

Стаціонарні

Контролер і комутатор встановлюються в одному приміщенні і з'єднуються прямою оптичною лінією. Підключення кожної базової станції до контролера здійснюється за допомогою транспортної мережі, яка будується на базі радіорелейних, волоконно-оптичних і мідних ліній. У деяких країнах базові

станції маскують під рослинність, що дає змогу трохи прикрасити залізні конструкції вишок.

Мобільні

Пересувні базові станції монтуються на базі транспортного засобу (автомобілів і причепів) зі встановленим обладнанням 2G, 3G, 4G. Радіус дії пересувної базової станції до 25 км, дає змогу обслужити до 6 тисяч абонентів та/або забезпечити мобільний інтернет для одночасного користування близько 1000 абонентів зі швидкістю 300 Мбіт/с. Швидкість передавання даних може досягати 1 Гбіт/с.[5] Мобільна супутникова також включає радіорелейне або супутникове обладнання для зв'язку з основною інфраструктурою. Дизель-генератор, що дає змогу працювати автономно, за відсутності можливості підключення до електромережі. Система охолодження (кондиціонер) або обігріву (пічка), для забезпечення терморежиму.

Стандарти стільникового зв'язку другого покоління знайшли широке поширення не тільки на території Росії, але і в інших країнах. Найвідомішим стандартом 2G є GSM (Global System for Mobile Communications - Глобальна система мобільного зв'язку). Близько 80% мереж стільникового зв'язку по всьому світу побудовані за цим стандартом. Мережі GSM використовуються 3 мільярдами людей більш ніж в 212 країнах світу. Таке широке поширення дозволяє використовувати міжнародний роумінг між операторами стільникового зв'язку, що дає можливість використовувати абоненту свій телефон практично в будь-якому куточку Землі. Причому саме можливість роумінгу (в тому числі і міжнародного) є головною відмінною рисою стандарту GSM від стандартів першого покоління.

2.3 Радіочастотне планування та кодування голосового трафіку

Стандарт GSM використовує вузький -лайн -багатогалузевий доступ із тимчасовим розділенням каналів. З множиною безперервностію з тимчасовим

розділенням каналу, абоненти передають свої повідомлення на одній радіочастотній, але в різний час. Це дозволяє збільшити обсяг мовного трафіку та дає ряд інших переваг, характерних для систем цифрового зв'язку. У структурі CDMA кадр містить 8 тимчасових положень на кожному з 124 FDMA / TDMA / FDD.

FDD - частота дуплексація: смужки частот передачі та частота отримання розташованих.

FDMA - Розділення частоти робочого діапазону. У діапазоні 25 МГц організовує 120 допоміжних частот.

TDMA - Тимчасовий поділ на 1 підтримуючу частоту організовано 8 тимчасових вікон.

Основні характеристики стандарту GSM:

- Частоти передачі мобільного (MS) та прийом базової станції (BS) 890-915 МГц;
- Частота отримання мобільних пристроїв та передачі BS 935-960 МГц;
- ширина смуги одного каналу $\Delta f_k = 200$ кГц;
- Ширина системи системи становить 50 МГц;
- Максимальна кількість радіоканерів - 124;
- Максимальна кількість радіоканалів у BS становить 16-20;
- кількість мовних каналів на підшипнику - 8;
- Алгоритм трансформації мовлення-RPE-LTP;
- Швидкість трансформації мовлення - 13 кбіт / с;
- Швидкість передачі інформації - 270 кбіт / с;
- Тип модуляції - 0,3 ГМК;
- радіус SOT –5-35 км;
- Потужність передачі: BS - 44 W (13 дБ*W), MS - 1 W (3 дБ*W).

Обробка промови в даному стандарті здійснюється в рамках прийнятої системи переривчастої передачі промови DTX (Discontinuous Transmission), яка забезпечує включення передавача тільки тоді, коли користувач починає

розмову та відключає його в паузах та наприкінці розмови. Система DTX управляє детектором активності мови VAD (Voice Activity Detector), який забезпечує виявлення та виділення інтервалів мови з шумом і без шуму мови навіть у тих випадках, коли рівень шуму можна порівняти з рівнем мови.

Для захисту від помилок, що виникають у радіоканалах, застосовується блочне та згорткове кодування з перемежуванням. Підвищення ефективності кодування та перемежування при малій швидкості переміщення рухомих станцій досягається повільним перемиканням робочих частот сеансу зв'язку (зі швидкістю 217 стрибків за секунду).

Для боротьби з інтерференційними завмираннями сигналів, викликані багатопроменевим поширенням радіохвиль в умовах міста, в апаратурі зв'язку використовується еквалайзери, що забезпечують вирівнювання імпульсних сигналів із середньоквадратичним відхиленням часу затримки до 16 мкс. Система синхронізації устаткування розрахована компенсацію (до 233 мкс) абсолютного часу затримки. Це відповідає максимальній дальності зв'язку 35 км (максимальний радіус стільника).

Для модуляції радіосигналу застосовується спектрально-ефективна частота гауссівської маніпуляції з мінімальним частотним зрушенням. Формування GMSK-радіосигналу відбувається таким чином, що на інтервалі, що відповідає одному біту, фаза несучої змінюється на 90° . Це найменша зміна фази, яка може бути виявлена за даного типу маніпуляції.

2.4 Організація фізичних і логічних каналів

На одній несучій організується 8 фізичних каналів, розміщених у 8 тимчасових вікнах, в межах TDMA-кадра кожен фізичний канал використовує одне й те саме тимчасове вікно в кожному тимчасовому TDMA-кадрі і в ньому міститься 114 біт.

Повідомлення та дані групуються у логічні канали до формування фізичного каналу. Логічні канали бувають 2-х типів:

- канали зв'язку передачі мови і даних у цифровій формі TCH.
- канали керування для передачі сигналів керування та синхронізації.

У GSM розрізняють канали передачі мови і даних:

- TCH/F - канал передачі повідомлень із повною швидкістю 22,8 Кбіт/с;
- TCH/H – напівшвидкісний канал передачі повідомлень зі швидкістю 11,4 Кбіт/с.
- BCCH

Канал передачі сигналів управління

- FSSH – канал підстроювання несучої частоти fBS
- MSCCH - канал тимчасової синхронізації та розпізнавання BS.
- BCCH - канал керування передачею BS - MS.
- CCCH

Загальні канали керування

- PSH – канал виклику BS – MS
- RACH – канал паралельного доступу BS – MS (для запиту про призначення індивідуального каналу управління).
- AGSH - канал зруйнованого доступу BS - MS (для прямого доступу до каналу)
- SDCCH

Індивідуальний канал керування

- SDCCH/4
- SDCCH/8

Складається із 4 (8) підканалів. За ними йде запит від MS про необхідний вид обслуговування BS-MS

- ACCH Сумісний канал керування
- FACCH - швидкий суміщений канал використовується для передачі команд при хендовері

- SACCH – повільний – використовується у прямому каналі для передачі команди на встановлення вихідного рівня потужності передавача MS

Формування сигналів починається з процесу перетворення мовного сигналу цифрову форму.

Процедура перетворення відбувається у мовному кодері. Для стандарту GSM обраний мовний кодер RPE-LTP (кодер з регулярним імпульсним збудженням і лінійним кодуванням з передбаченням) з довгостроковим прогнозуючим пристроєм від MPE-LTP кодером, що дозволило знизити швидкість передачі до 13 Кбіт/с (з 14,77 Кбіт/с) .

Зменшення швидкості до 13 Кбіт/с досягається трьома етапами:

- лінійним кодуванням із передбаченням;
- довгостроковим передбаченням;
- регулярним імпульсним збудженням.

Діапазон вхідних амплітуд розбивається на сегменти. Потім у процесі аналізу обчислюються 8 коефіцієнтів $r(i)$, які подаються як рівні. Потім у процесі довготривалого передбачення кожен сегмент вирівнюється рівня наступних друг за одним сегментів промови.

Кодери з лінійним передбаченням витягують суттєві сприйняття характеристики мови безпосередньо з тимчасової форми сигналу. Такий кодер аналізує мовний сигнал для отримання змінюється в часі моделі збудження мовлення тракту, що утворює.

Вісім коефіцієнтів $r(i)$ кодуються та передаються зі швидкістю 3,6 Кбіт/с, періодична послідовність фрагментів передається зі швидкістю 9,4 Кбіт/с. Загальна швидкість передачі становить 3,6+9,4 Кбіт/с. Таким чином, обробка мови проводиться за кадрами тривалістю 20 мс. За час кадру під час аналізу обчислюються 93 значення параметрів, що передаються кожні 20 мс цифровим потоком зі швидкістю 13 Кбіт/с. Кодер розпізнає під час аналізу мови різні звуки мови і передає з генератора синусоїдальний сигнал у всьому діапазоні мовних частот.

У мовному декодер сигнал відновлюється по відгуках послідовності регулярного імпульсного збудження.

Система DTX управляє детектором активності мови VAD (Voice Activity Detector), який забезпечує виявлення та виділення інтервалів мови з шумом і шуму без мови, навіть у тих випадках, коли рівень шуму співмірний з рівнем мови

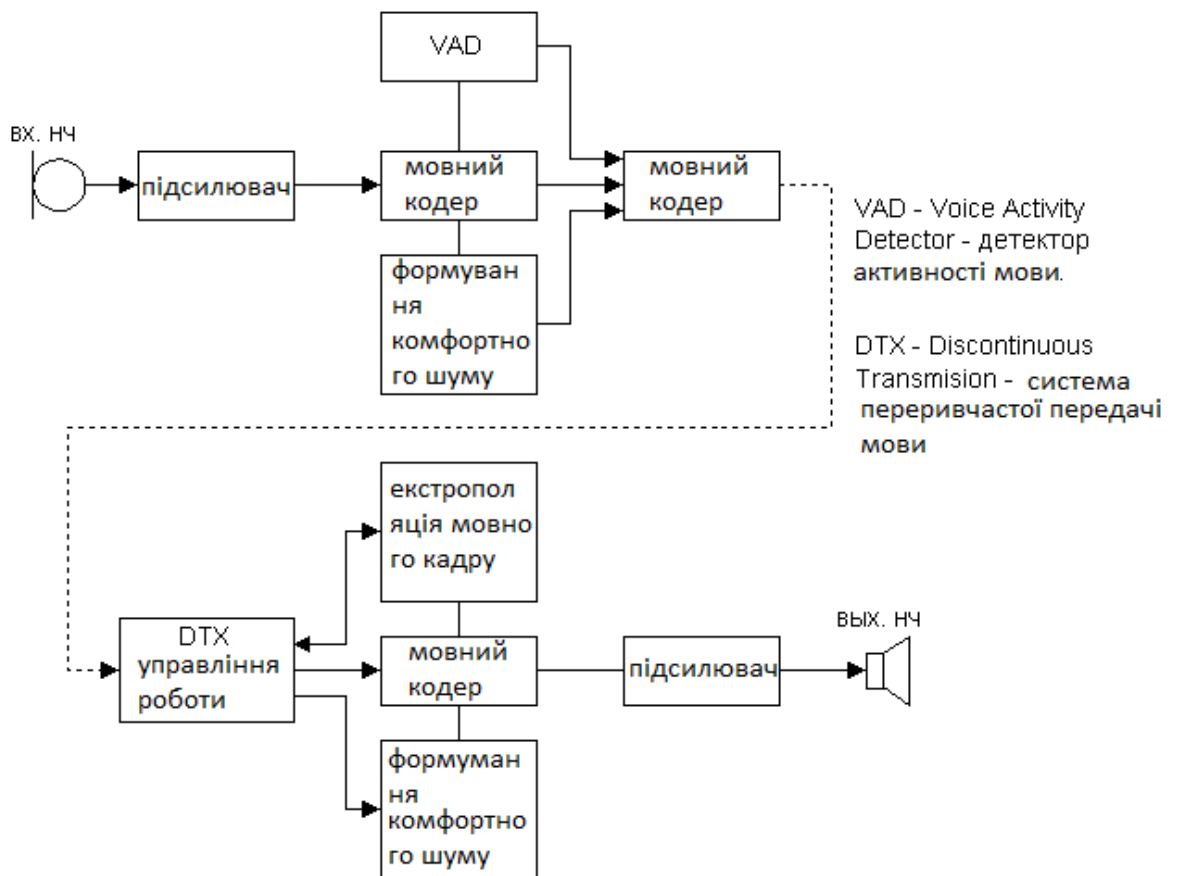


Рисунок 2.1 – Структурна схема процесів обробки мови у стандарті GSM

Мовний кодер передає кожні 260 біт інформаційної послідовності зі швидкістю $v = 13$ Кбіт/с на каналну схему кодування. Перші 182 біти цього кадру (біти 1-го класу) захищаються за допомогою блокового коду. Для цього біти 1-го класу поділяються додатково на 50 біт класу 1а та 132 біта класу 1б

Блоковий код є систематичним циклічним кодом (53,50).

Відповідно до прийнятого правила формування системного коду, ключ SW закритий на час перших 50 тактових імпульсів, а інформаційні біти, що надходять на вхід пристрою, що кодує, одночасно надходять на блок переупорядкування і формування 3 біт перевірки на парність,

Після 50 тактових імпульсів перемикач SW спрацьовує, і біти перевірки на парність надходять з пристрою, що кодує.

Далі проводиться перший крок перемешування: біти з парними індексами збираються у першій частині інформаційного слова, потім йдуть 3 біти перевірки на парність, потім збираються біти з непарними індексами та переставляються. Потім слідує 4 нульові біти, які потрібні для формування коду, що виправляє випадкові помилки в каналі

Потім 189 біт кодуються згортковим кодом. Згортковий код є безперервним. В основу покладено принцип формування перевірочних розрядів шляхом підсумовування за модулем «2» кожного інформаційного розряду з деяким набором попередніх розрядів. До інформаційного розряду додаються 2 перевірочні, отримані в процесі формування.

У стандарті GSM обрано гауссівську частотну маніпуляцію з мінімальним частотним зсувом – GMSK. Індекс модуляції 0,3. GMSK являє собою двійкову ЧС з двома відповідними сигналу частотами, вибраними таким чином, щоб на тактовому інтервалі між двома частотами був фазовий зсув на 90° .

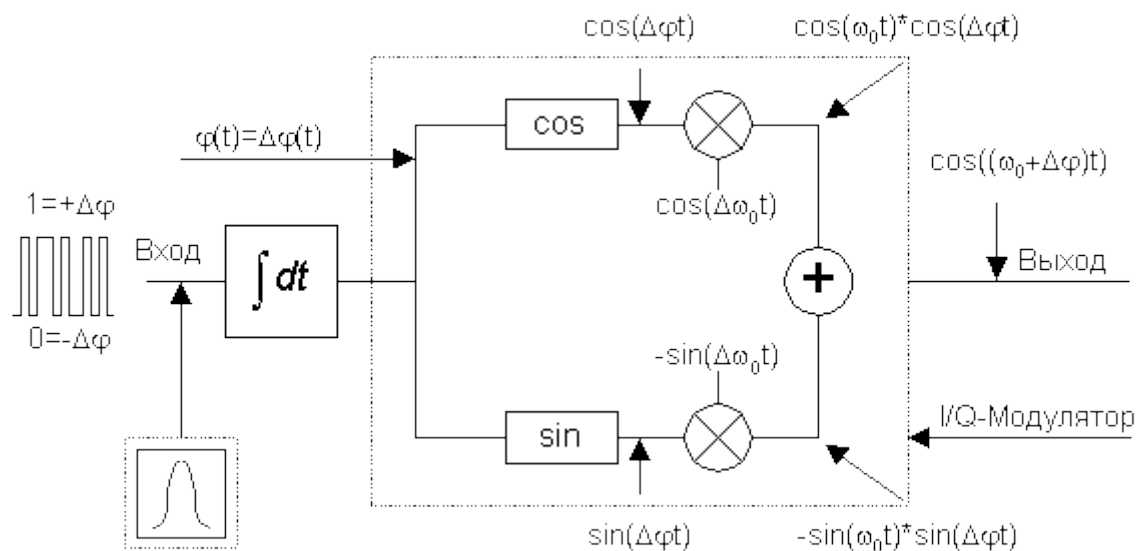


Рисунок 2.4 – Модуляція в GSM

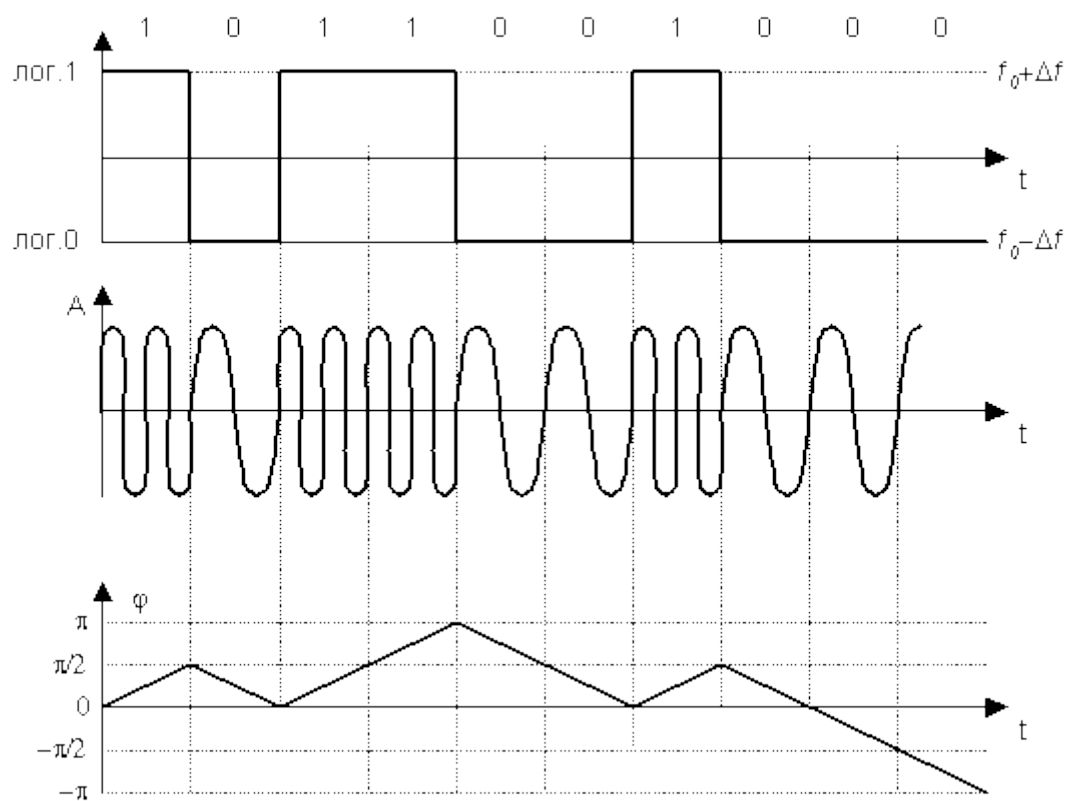


Рисунок 2.4 – Модуляція в GSM

Модуляцію GSM характеризують такі властивості:

- постійна за рівнем огибаюча, що дозволяє використовувати передавальні пристрої з підсилювачами потужності класу;
- вузький спектр на виході підсилювача потужності передавального пристрою, що забезпечує низький рівень позасмугового випромінювання;
- хороша завадостійкість каналу зв'язку.

При передачі по одному розмовному каналу в стандарті GSM використовується нормальний часовий інтервал NB (пакет) тривалістю 0,577 мс, який включає:

- 114 біт зашифрованого повідомлення;
- дві кінцеві комбінації ТБ (Tail Bits) по 3 біти кожна;

- два контрольні біти, що розділяють зашифровані біти повідомлення та еталонну послідовність;
- захисний інтервал GP (Guard Period) тривалістю, що дорівнює часу передачі 8,25 біта.

Це означає, що інтервал NB містить 156,25 біт, а тривалість одного біта становить 3,69 мкс.

Тимчасовий інтервал підстроювання частоти містить 142 нульові біти, дві кінцеві комбінації ТБ і захисний інтервал. Часові інтервали підстроювання частоти, що повторюються, утворюють канал установки частоти (FCSH). Інтервал тимчасової синхронізації SB використовується рухомий станції для синхронізації роботи апаратури. Він складається з синхропослідовності довжиною 64 біта і двох зашифрованих блоків (по 39 біт кожен), що несуть інформацію про номер TDMA-кадру та ідентифікаційний код базової станції. Цей інтервал передається разом із інтервалом встановлення частоти. Інтервали, що повторюються, синхронізації утворюють так званий канал синхронізації (SCH).

Інсталяційний інтервал DB забезпечує встановлення та тестування каналу зв'язку. За своєю структурою настановний інтервал збігається з нормальним часовим інтервалом NB. Відмінність їх у тому, що інтервал DB містить настановну послідовність довжиною 26 біт і у ньому відсутні контрольні біти. Інтервал доступу AB забезпечує дозвіл доступу рухомий станції до нової базової станції, Він містить великий захисний інтервал GP тривалістю 252 мкс (68,25 біта), дві кінцеві комбінації ТБ (по 3 біта кожна), синхрослідковість довжиною 41 біт і 36 зашифр. Великий захисний інтервал (252 мкс) забезпечує можливість зв'язку з рухомими абонентами в стільниках радіусом до 35 км, оскільки він перекриває час розповсюдження радіосигналу в прямому та зворотному напрямках, який може становити при цьому до 233,3 мкс.

Передача інформації при тимчасовому розподілі каналів здійснюється у складі TDMA-кадру. Кожен часовий інтервал цього кадру позначається номером від 0 до 7, тобто в одному кадрі можуть одночасно передаватися 8

мовних каналів. Фізичний зміст тимчасових інтервалів, які інакше називаються вікнами, - це час, протягом якого здійснюється модуляція несучої цифровим інформаційним потоком, що відповідає мовленнєвому повідомленню або даним. Цифровий інформаційний потік є послідовністю пакетів, що розміщуються в цих часових інтервалах (вікнах). Пакети формуються трохи коротше, ніж інтервали, їх тривалість становить 0,546 мс, що необхідно прийому повідомлення за наявності тимчасової дисперсії в каналі поширення. Загальна тривалість одного TDMA-кадра складає 4615 мс. З TDMA-кадрів складаються мультикадри. Для організації різних каналів зв'язку та управління у стандарті GSM використовуються два види мультикадрів:

- що складаються з 26 TDMA-кадрів;
- що складаються з 51 TDMA-кадра.

Тривалість одного мультикадра першого виду дорівнює 120 мс, другого – 235,385 мс. З 51 мультикадра першого виду (по 26 кадрів) або з 26 мультикадрів другого виду (по 51 кадру) складається суперкадр тривалістю 6, 12 с (1326 TDMA-кадрів). 2048 суперкадрів складають 1 гіперкадр, що містить 2715648 TDMA-кадрів, Тривалість 1 гіперкадра становить 3 год 28 хв 53 з 760 мс. Необхідність такої великої тривалості гіперкадра обумовлена вимогами процесу криптографічного захисту, в якому номер кадру використовується як вхідний параметр шифрування. Однак, навіть без додаткового шифрування прослуховувати розмови практично неможливо.

Однією з особливостей формування сигналів у стандарті GSM є використання повільних стрибків за частотою у процесі сеансу зв'язку – SFH (Slow Frequency Hopping). Головне призначення таких стрибків - забезпечення частотного рознесення в радіоканалах, що функціонують в умовах багатопроменевого поширення радіохвиль. Повільні стрибки частоти використовуються у всіх рухомих мережах, що підвищує ефективність кодування та перемежування при повільному русі абонентських станцій.

Принцип формування повільних стрибків по частоті полягає в тому, що повідомлення, що передається у виділеному абоненту часовому інтервалі

TDMA-кадра 0,577 мс, у кожному наступному кадрі передається (приймається) на фіксованій новій частоті, малюнок 3.16. Відповідно до структури кадрів, час для перебудови частоти становить близько 1 мс.

У процесі стрибків по частоті постійно зберігається рознесення 45 МГц між каналами прийому та передачі. Всім активним абонентам, що знаходяться в одній соті, ставляться у відповідність послідовності перемикання частот, що не перетинаються, що виключає взаємні перешкоди при прийомі повідомлень абонентами. Параметри послідовності перемикань частот (частотно-часова матриця і початкова частота) призначаються кожній рухомий станції у процесі встановлення каналу зв'язку.

Висновки до розділу 2

Другий розділ дипломної роботи було присвячено побудови та організації мережі GSM.

В розділі розглянуті основні підходи до побудови мереж. Зокрема детально розглянуті основні способи модуляції, визначено розподіл частотних каналів, мовних каналів, каналів управління.

Детально проаналізована ієрархічна структура мережа, основні компоненти GSM, які використовуються для розгортання мереж будь якого масштабу та складності, і по суті є невідомими.

3. ВИКОРИСТАННЯ МІМО ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОКРИТТЯ ТА ПРОНИКНЕННЯ ПОСЛУГ GSM.

3.1 Про технології багатоантенного доступу

У сучасних системах зв'язку, наприклад, у стільникових системах зв'язку, високошвидкісних локальних обчислювальних мереж та ін, існує необхідність підвищення пропускної спроможності. Пропускна здатність може бути збільшена шляхом розширення смуги частот. Тим не менш, застосовність цих методів обмежена через вимоги біологічного захисту, обмеженої потужності джерела живлення (у мобільних пристроях) та електромагнітної сумісності. Тому якщо в системах зв'язку ці підходи не забезпечують необхідну швидкість передачі даних, то ефективним може виявитися застосування адаптивних решіток з антенними елементами. Системи зв'язку з такими антенами одержали назву систем МІМО.

У загальному випадку в каналі спостерігаються міжсимвольна інтерференція і частотна селективність але в багатьох випадках тривалість імпульсів у бездротових системах зв'язку набагато більше затримок сигналів, що надходять на приймальну антену, що дає змогу нехтувати міжсимвольною інтерференцією в каналі. Частотну селективність також доводиться брати до уваги, наприклад, у системах зв'язку стандарту IEEE 802.11, де використовується технологія OFDM. Однак у деяких ситуаціях можна використовувати модель каналу без частотної селективності.

Збільшення швидкості – непросте справа – теоретично найбільший фактор, що обмежує швидкість, – це пропускна спроможність.

Кожній телефонній вежі надається загальна ширина частот, на яких вона може передаватися, і кожній підключеній людині виділяється невеликий канал певної ширини. Це означає, що кожна вежа має обмежену кількість клієнтів, які вона може обслуговувати, перш ніж вона стане перевантаженою.

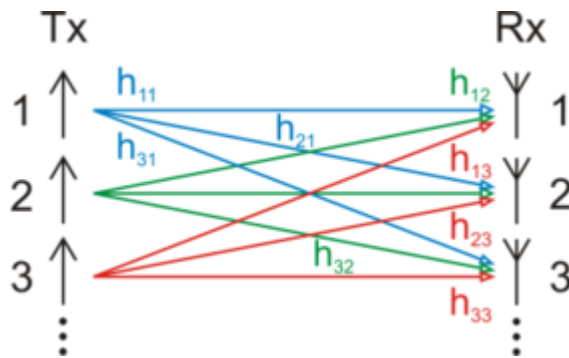


Рисунок 3.1 – Модель каналу MIMO

Можна спробувати збільшити швидкість – збільшивши канал для кожного клієнта – це значно зменшить кількість людей, які ця вишка зможе обслуговувати в одну одиницю часу. Збільшить швидкість, але зменшить пропускну здатність, відповідно до такого плану треба значно збільшувати кількість вишок. Це працює у міському середовищі, але не вигідно загородом. Дуже дорого.

Швидкість також обмежена ставленням сигнал/шум (SNR), для покращення цього ми можемо збільшити потужність (або гучність) передачі, щоб телефонна вежа могла «краще чути» нас, але це призводить до зменшення дальності дії.

Після того, як ми зменшили всі характеристики, які ми можемо отримати від передачі від антени до антени, ми повинні підійти до проблеми по-іншому.

Ось де MIMO починає грати – якщо ми не можемо покращити повітряну передачу, чому б не збільшити кількість антен?

MIMO - це акронім Multiple-In, Multiple-Out, що перекладається як "множинний вхід, множинний вихід".

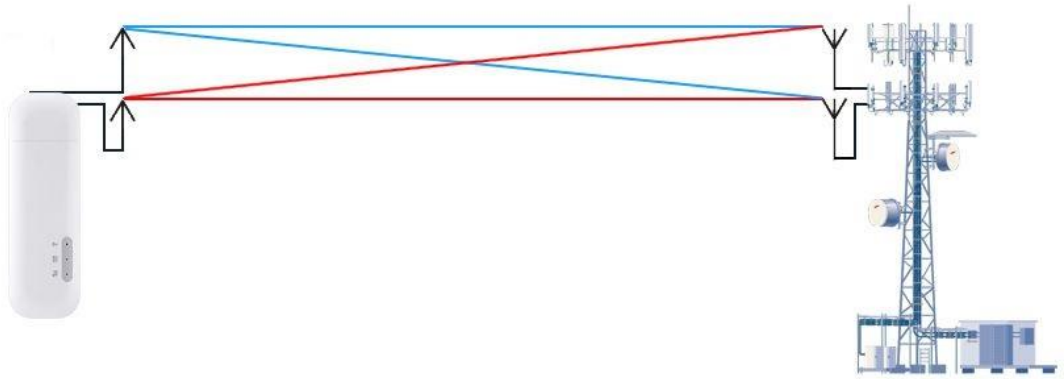


Рисунок 3.2 – Приклад роботи каналу MIMO

Використовуючи декілька антен, ми можемо забути про труднощі передачі повітрям і замість цього покласти навантаження на обладнання обробки сигналів у вашому модемі.

Оскільки всі антени передають на однакових частотах, від телефонної вежі не потрібна додаткова смуга пропускання для кожного користувача.

Дані спочатку поділяють кілька потоків, та був збираються у точці прийому. Приймач спроектований так, щоб враховувати невелику різницю у часі між прийомами кожного сигналу, а також додаткові шуми чи перешкоди та навіть втрачені сигнали.

MIMO (Multiple Input Multiple Output)

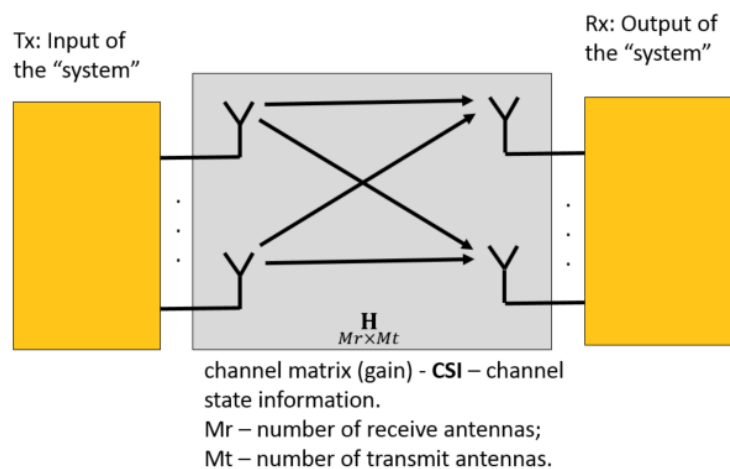


Рисунок 3.3 - Архітектура каналу MIMO

3.2 Математичні модель функціонування MIMO

Перш ніж ми почнемо говорити про пропускну здатність, розберемося спочатку з математичним описом отриманого сигналу (received signal). До цієї частини варто поставитися досить уважно, так як дуже багато походить саме з цієї формули. Отже прийнятий сигнал можна як:

$$\mathbf{y} = \sqrt{\frac{P}{M_T}} \mathbf{H} \mathbf{s} + \mathbf{n} \quad (3.1)$$

де P — потужність передавача,

M_T — кількість передаючих антен,

$\mathbf{s}$ — символи, що передаються,

$\mathbf{n}$ — адитивний шум,

$\mathbf{H}$ — матриця коефіцієнтів передачі каналу (фактично, процес загасання — fading).

Переданий сигнал також можна розписати трохи докладніше:

$$s_i = \gamma_i d_i \quad i = 1, 2, \dots, M_T \quad (3.2)$$

Сформулюємо, що таке посилення шляху:

Посилення шляху поширення (або вага антени - antenna weight) означає розподіл вихідної потужності, пропорційне "силі" певної траси. Іншими словами, ми хочемо виділити більше потужності для хороших каналів (шляхів розповсюдження) та менше енергії для поганих каналів.

Ваги антен обмежені кількістю передаючих антен:

$$\sum_{i=1}^r \gamma_i = M_T \quad (3.3)$$

де r - ранг каналної матриці.

До речі, про останню.

Розмірність матриці $\mathbf{H}$ становить $M_R \times M_T$, де M_R - кількість прийомних антен.

Для кількох тимчасових вимірів канал матиме такий вигляд:

де r - ранг каналної матриці.

До речі, про останню.

Розмірність матриці $\mathbf{H}$ становить $M_R \times M_T$, де M_R - кількість прийомних антен.

Для кількох тимчасових вимірів канал матиме такий вигляд:

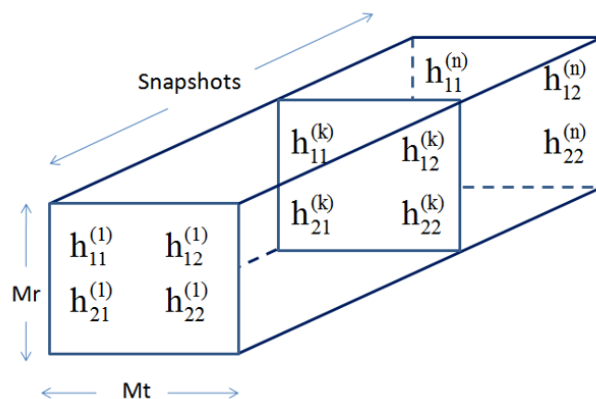


Рисунок 3.4 – Часові виміри каналу MIMO

Можливо, для складніших розрахунків і моделей ви захочете використовувати один із найпопулярніших для того інструментів – MatLab. У такому разі варто врахувати, що там використовується трохи інша структура даних: рядками є тимчасові виміри (snapshots), кількість стовпців відповідає кількості передавальних антен M_T , виміру "вглиб" (lateral dimension) відповідає M_R .

Формула легко може бути адаптована і під окремі випадки MIMO.

MISO (Multiple Input Single Output — кілька передаючих антен і одна приймальня):

$$y = \sqrt{\frac{P}{M_T}} \mathbf{h} \mathbf{s} + n \quad (3.4)$$

де

$\mathbf{h}$ - це вектор M_T .

SIMO (Single Input Multiple Output — кілька приймальних антен і одна передавальна):

$$y = \sqrt{P} \mathbf{h} \mathbf{s} + n \quad (3.5)$$

де $\mathbf{h}$ - це вектор $M_R \times 1$

SISO (Single Input Single Output - по одній антені на приймальній та передавальній сторонах):

Весь подальший розгляд можна поділити на два великі кейси: інформація про стан каналу (CSI - channel state information) невідома передавачу (CU - Channel Unknown) і інформація про стан каналу відома передавачу (CK - Channel Known).

Вище ми розглянули випадок, коли канал невідомий для передавача (open-loop case, без зворотного зв'язку). Іншими словами, ми не можемо, через відсутність необхідної інформації, вибрати будь-який ефективний напрямок, і тому йдемо найпростішим шляхом: передаємо рівну потужність через всі антени (тракти, шляхи поширення). Отже, посилення кожного шляху поширення (path gain) дорівнює 1:

$$\gamma_i = 1, \quad i = 1, 2, \dots, M_T \quad (3.6)$$

Однак повторимо: ми хочемо виділити більше потужності для хороших каналів (шляхів розповсюдження) та менше енергії для поганих каналів.

3.3 Ефективний розподіл потужності

Якщо канал відомий (closed-loop case - із зворотним зв'язком), ми можемо використовувати розширені сценарії передачі з деякими додатковими алгоритмами обробки сигналів. Наприклад, з лінійними підходами такими, як попереднє кодування (pre-coding) та пост-обробка (post-processing).

Розберемося, що означають два останні терміни.

Якщо ми маємо CSI на передавальній стороні, тобто. матриця $\mathbf{H}$, цю саму матрицю ми можемо математично обробити. Наприклад, застосувавши алгоритм SVD (Singular Value Decomposition).

$$\mathbf{H} = \underset{(Mr \times Mr)}{\mathbf{U}} \underset{(Mr \times Mt)}{\mathbf{\Sigma}} \underset{(Mt \times Mt)}{\mathbf{V}^H} = \begin{bmatrix} \underset{Mr \times r}{\mathbf{U}_S} & \underset{Mr \times (Mr-r)}{\mathbf{U}_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underset{r \times r}{\mathbf{\Sigma}_S} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underset{r \times Mt}{\mathbf{V}_S^H} \\ \underset{(Mt-r) \times Mt}{\mathbf{V}_0^H} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Rank of the channel matrix

Signal subspace Null subspace

Зверніть увагу, що матриця $\mathbf{\Sigma}$ - діагональна матриця, а елементи її діагоналі (сингулярні значення) - це, по суті, коефіцієнти передачі унікальних шляхів поширення. Інакше кажучи, якщо ми досягнемо перемноження нашого сигналу на матрицю сингулярних значень $\mathbf{\Sigma}$, а не на повну канальну $\mathbf{H}$, то канал MIMO розпадеться на масив паралельних SISO каналів.

Значить матриця лінійного попереднього кодування (фільтра) повинна бути $\mathbf{F} = \mathbf{V}_S$, а матриця лінійної пост-обробки (демодулятор) $\mathbf{D} = \mathbf{U}^H \mathbf{H}_S$ ($\mathbf{H}$ означає ермітове сполучення).

Вочевидь, що з випадку з невідомим каналом $\mathbf{F}$ і $\mathbf{D}$ рівні одиничним (identity) матрицям.

Тепер, знаючи все вище зазначене, перевизначимо модель прийнятого сигналу:

$$\mathbf{D}\mathbf{y} = \mathbf{D} \left(\sqrt{\frac{P}{M_t}} \mathbf{H}\mathbf{F}\mathbf{s} + \mathbf{n} \right) = \mathbf{U}_s^H \mathbf{y} = \sqrt{\frac{P}{M_t}} \mathbf{U}_s^H \mathbf{H} \mathbf{V}_s \mathbf{s} + \mathbf{U}_s^H \mathbf{n} = \sqrt{\frac{P}{M_t}} \boldsymbol{\Sigma}_s \mathbf{s} + \hat{\mathbf{n}} = \hat{\mathbf{y}} \quad (3.8)$$

Відмітимо, що:

$\mathbf{\hat{n}}$ має самі статистичні властивості, як і $\mathbf{n}$;

Своє значення (eigen values) $\mathbf{H}\mathbf{H}^H$ є квадратами сингулярних значень (singular values) матриці каналу $\mathbf{H}$ ($\sigma_i = \sqrt{\lambda_i}$).

Схематично це можна уявити як:

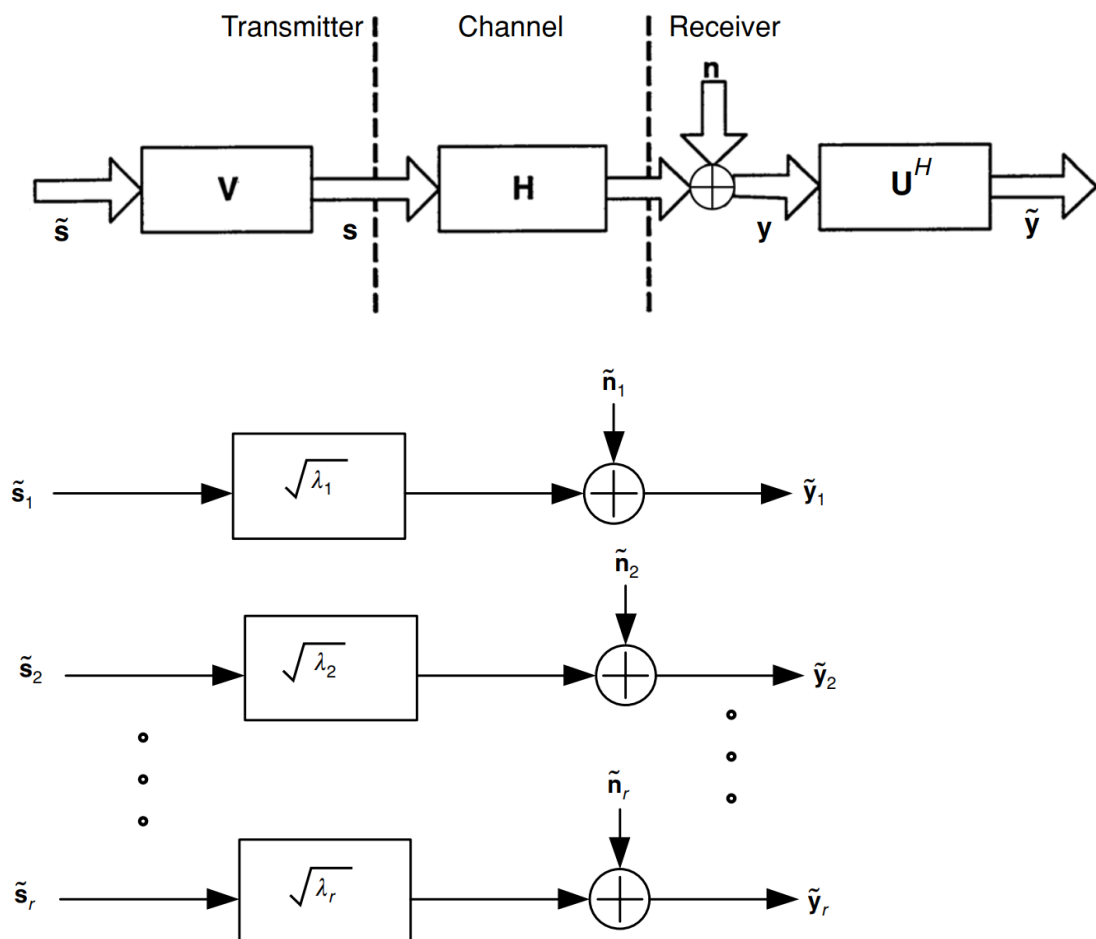


Рисунок 3.5 – Мультиплексування каналів MIMO

Як видно з формули пропускної спроможності відомого на передавальній стороні каналу (СК - Channel Known), розподіл енергії по антен можна оптимізувати. Для цього скористаємося алгоритмом Water-pouring

```
import numpy as np
from numpy import linalg as LA
import matplotlib.pyplot as plt

def waterpouring(Mt, SNR_dB, H_chan):
    SNR = 10**(SNR_dB/10)
    r = LA.matrix_rank(H_chan)
    H_sq = np.dot(H_chan, np.matrix(H_chan, dtype=complex).H)
    lambdas = LA.eigvals(H_sq)
    lambdas = np.sort(lambdas)[:r-1]
    p = 1;
    gammas = np.zeros((r,1))
    flag = True
    while flag == True:
        lambdas_r_p_1 = lambdas[0:(r-p+1)]
        inv_lambdas_sum = np.sum(1/lambdas_r_p_1)
        mu = ( Mt / (r - p + 1) ) * ( 1 + (1/SNR) * inv_lambdas_sum)
        for idx, item in enumerate(lambdas_r_p_1):
            gammas[idx] = mu - (Mt/(SNR*item))
        if gammas[r-p] < 0: #due to Python starts from 0
            gammas[r-p] = 0 #due to Python starts from 0
            p = p + 1
        else:
            flag = False
    res = []
    for gamma in gammas:
        res.append(float(gamma))
    return np.array(res)

Mt = 3
SNR_db = 10
H_chan = np.array([[1,0,2],[0,1,0], [0,1,0]], dtype = float)
gammas = waterpouring(Mt, SNR_db, H_chan)
print('Rank of the matrix: '+str(LA.matrix_rank(H_chan)))
print('Gammas:\n'+str(gammas))

>>> Rank of the matrix: 2
>>> Gammas:
>>> [1.545 1.455]
```

Згадуємо формулу відповідності між децибелами та разами:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right) \quad (3.9)$$

де S - потужність сигналу, що передається (для наших завдань вона еквівалентна енергії символу E_s), а N - потужність шуму (у нашому завданні дорівнює спектральній щільності шуму N_0).

Значить у лінійному масштабі буде:

$$\frac{E_s}{N_0} \equiv \frac{S}{N} = 10^{SNR_{dB}/10} \quad (3.10)$$

Дивимося на основні формули алгоритму:

$$\mu = \frac{M_T}{(r - p + 1)} \left[1 + \frac{N_0}{E_s} \sum_{i=1}^{r-p+1} \frac{1}{\lambda_i} \right] \quad (3.11)$$

де p - це ітератор, що починається з 1, r - ранг каналної матриці, λ_i - i -е власне значення "квадрату" каналної матриці. Гами вважаємо за такою формулою:

$$\gamma_i = \left(\mu - \frac{M_T N_0}{E_s \lambda_i} \right) \quad i = 1, 2, \dots, r - p + 1 \quad (3.12)$$

Якщо $SNR_{dB} \rightarrow +\infty$ то $\frac{E_s}{N_0} \rightarrow +\infty$ Отже $\frac{N_0}{E_s} \rightarrow 0$ Для першої ітерації залишається:

$$\mu = \frac{M_T}{r} \quad (3.13)$$

Підставляємо до гам:

$$\gamma_i = \mu = \frac{M_T}{r} \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (3.14)$$

Резюмуємо:

При нескінченно великій енергії передачі або нескінченно малих шумах нічого особливого вигадувати, скажімо так, не потрібно - рівномірно

розподіляємо потужність між передаючими антенами (з огляду на ранг каналної матриці).

Міркуємо далі:

А чому відповідає випадок SNR, що прагне до $-\infty$? Тут навіть не лізтимемо в математику, розсудимо логічно: випадок цей відповідає або нескінченно великим шумам, або нульовій потужності передачі. Отже, так і так, наша система, вважайте, не функціонує. Тому і питання з гаммами відпадає автоматично.

```
def siso_capacity(H_chan, SNR_dB):
    SNR = 10**(SNR_dB/10)
    c = np.log2(1 + SNR*(np.abs(H_chan)**2))
    return c

def openloop_capacity(H_chan, SNR_dB):
    SNR = 10**(SNR_dB/10)
    Mt = np.shape(H_chan)[1]
    H_sq = np.dot(H_chan, np.matrix(H_chan, dtype=complex).H)
    lambdas = LA.eigvals(H_sq)
    lambdas = np.sort(lambdas)[::-1]
    c = 0
    for eig in lambdas:
        c = c + np.log2(1 + SNR*eig/Mt)
    return np.real(c)

def closedloop_capacity(H_chan, SNR_dB):
    SNR = 10**(SNR_dB/10)
    Mt = np.shape(H_chan)[1]
    H_sq = np.dot(H_chan, np.matrix(H_chan, dtype=complex).H)
    lambdas = LA.eigvals(H_sq)
    lambdas = np.real(np.sort(lambdas))[::-1]
    c = 0
    gammas = waterpouring(Mt, SNR_dB, H_chan)
    for idx, item in enumerate(lambdas):
        c = c + np.log2(1 + SNR*item*gammas[idx]/Mt)
    return np.real(c)

Mr = 4
Mt = 4
H_chan = (np.random.randn(Mr, Mt) \
           + 1j*np.random.randn(Mr, Mt))/np.sqrt(2) #Rayleigh flat fading

c = openloop_capacity(H_chan, 10)
print(c)
c = closedloop_capacity(H_chan, 10)
print(c)
c = siso_capacity(H_chan[0,0], 10)
print(c)

>>> 11.978909197556913
>>> 12.342571770086721
>>> 3.9058582578551193
```

Як видно з прикладів вище, ми працюємо з випадковими процесами. І, чесно кажучи, помилково робити будь-які висновки про випадкові процеси щодо однієї реалізації. Навіть за умови постійного в статистичному сенсі каналу потрібне деяке усереднення за досить великою множиною.

Тут нам і стане в нагоді поняття ергодичної пропускної спроможності (ergodic capacity):

$$\hat{C} = E \{C\} \quad (3.15)$$

де $E\{\ast\}$ позначає мат. очікування (expected value).

Моделюємо

```
Mr = 4
Mt = 4
counter = 1000
SNR_dBs = [i for i in range(1, 21)]
C_MIMO_CU = np.empty((len(SNR_dBs), counter))
C_MIMO_CK = np.empty((len(SNR_dBs), counter))
C_SISO = np.empty((len(SNR_dBs), counter))
C_SIMO = np.empty((len(SNR_dBs), counter))
C_MISO_CU = np.empty((len(SNR_dBs), counter))
C_MISO_CK = np.empty((len(SNR_dBs), counter))

for c in range(counter):
    H_MIMO = (np.random.randn(Mr, Mt) + 1j*np.random.randn(Mr,
Mt))/np.sqrt(2)
    H_SISO = H_MIMO[0, 0]
    H_SIMO = H_MIMO[:, 0].reshape(Mr, 1)
    H_MISO = H_MIMO[0, :].reshape(1, Mt)
    for idx, SNR_dB in enumerate(SNR_dBs):
        C_MIMO_CU[idx, c] = openloop_capacity(H_MIMO, SNR_dB)
        C_MIMO_CK[idx, c] = closedloop_capacity(H_MIMO, SNR_dB)

        C_SISO[idx, c] = siso_capacity(H_SISO, SNR_dB)
        C_SIMO[idx, c] = openloop_capacity(H_SIMO, SNR_dB)

        C_MISO_CU[idx, c] = openloop_capacity(H_MISO, SNR_dB)
        C_MISO_CK[idx, c] = closedloop_capacity(H_MISO, SNR_dB)

C_MIMO_CU_erg = np.mean(C_MIMO_CU, axis=1)
C_MIMO_CK_erg = np.mean(C_MIMO_CK, axis=1)

C_SISO_erg = np.mean(C_SISO, axis=1)
C_SIMO_erg = np.mean(C_SIMO, axis=1)

C_MISO_CU_erg = np.mean(C_MISO_CU, axis=1)
C_MISO_CK_erg = np.mean(C_MISO_CK, axis=1)

plt.figure(figsize=(7, 5), dpi=600)
```

```

plt.plot(SNR_dBs, C_MIMO_CU_erg, 'g-o', label='$M_R=4$, $M_T=4$ (CU)')
plt.plot(SNR_dBs, C_MIMO_CK_erg, 'g-v', label='$M_R=4$, $M_T=4$ (CK)')

plt.plot(SNR_dBs, C_MISO_CU_erg, 'm-o', label='$M_R=1$, $M_T=4$ (CU)')
plt.plot(SNR_dBs, C_MISO_CK_erg, 'm-v', label='$M_R=1$, $M_T=4$ (CK)')

plt.plot(SNR_dBs, C_SISO_erg, 'k-', label='$M_R=1$, $M_T=1$')
plt.plot(SNR_dBs, C_SIMO_erg, 'c-', label='$M_R=4$, $M_T=1$')

plt.title("Ergodic Capacity")
plt.xlabel('SNR (dB)')
plt.ylabel('Capacity (bps/Hz)')
plt.legend()
plt.minorticks_on()
plt.grid(which='major')
plt.grid(which='minor', linestyle=':')
plt.show()

```

Випадок MIMO очікувано перевершує інші, а зі збільшенням SNR необхідність знання каналної матриці зменшується (див. приклад з нескінченностями).

SIMO перевищує MISO за умови незнання передавачем каналу (потужність у MISO поділяється по всіх антенах, а не оптимально) і збігається з MISO у випадку відомого каналу.

SISO очікувано падає в хвості.

І панує над усім його величність ранг каналної матриці, що не дозволяє однозначно зіставляти збільшення кількості антен зі збільшенням швидкості передачі.

Як видно з представленого малюнка, модуль GSM містить у своєму складі адаптер USART (послідовний порт зв'язку), тому його можна безпосередньо підключити до комп'ютера використовуючи модуль MAX232, або його контакти Tx і Rx можна підключити до мікроконтролера. Також у GSM модуля є контакти MIC+, MIC-, SP+, SP-, до яких можна підключити мікрофон та гучномовець (динамік) відповідно. Модуль можна запитати від 12V адаптера через стандартний роз'єм постійного струму (DC barrel jack).

Коли ви вставите SIM картку в модуль GSM, ви повинні помітити, що на ньому загориться світлодіод, що індикує подачу живлення. Після цього зачекайте хвилину або трохи довше - світлодіод червоного (або іншого)

кольору повинен блимати з інтервалом 3 секунди. Це означатиме, що модуль встановив з'єднання з вашою SIM карткою. Після цього можна підключити його до комп'ютера або мікроконтролера.

Взаємодія з модулем GSM за допомогою AT команд

GSM модуль розуміє лише одну "мову" управління ним - це AT команди. Наприклад, якщо ви хочете дізнатися активний модуль чи ні, ви можете надіслати йому команду "AT", модуль GSM повинен відповісти на неї "OK".

Повний список команд AT досить великий і англomовний даташит на них включає 271 сторінку. Тому в наступній таблиці ми навели список найчастіше використовуваних AT команд

- AT Відповідає OK на запит
- AT+CPIN? Перевірка якості сигналу
- AT+COPS? Пошук імені провайдера
- ATD96XXXXXXXXX; Виклик вказаного номера
- AT+CNUM Визначення номера SIM-картки (для деяких SIM-карток може не працювати)
- ATA Відповідь на вхідний дзвінок
- ATH Відхилення вхідного дзвінка (повісити слухавку)
- AT+COLP Відобразити номер вхідного дзвінка
- AT+VTS=(number) Надіслати номер DTMF (number)
- AT+CMGR AT+CMGR=1 зчитує повідомлення на першій позиції
- AT+CMGD=1 Видалення повідомлення на першій позиції
- AT+CMGDA="DEL ALL" Видалення всіх повідомлень із SIM картки
- AT+CMGL="ALL" Читання всіх повідомлень із SIM картки
- AT+CMGF=1 Встановлення конфігурації SMS. "1" – лише текстовий режим
- AT+CMGS = "+91 968837XXXX"
- >CircuitDigest Text<Ctrl+z>

- Надсилання SMS на певний номер, наприклад, на 968837XXXX. Коли побачите “>”, починайте набирати текст. Щоб надіслати текст, натисніть Ctrl+Z
- AT+CGATT? Перевірка інтернет-з'єднання на SIM карті
- AT+CIPSHUT Завершення TCP з'єднання, що означає відключення від Інтернету
- AT+CSTT = “APN”, “username”, “Pass” З'єднання з GPRS за допомогою APN та Pass key. Їх можна отримати у провайдера мережі
- AT+CIICR Перевірка чи має ваша SIM карта пакет даних
- AT+CIFSR Отримати IP SIM мережі
- AT+CIPSTART = “TCP”, “SERVER IP”, “PORT” Установка TCP IP з'єднання
- AT+CIPSEND Передача даних на сервер

Схема підключення GSM модуля до мікроконтролера PIC.

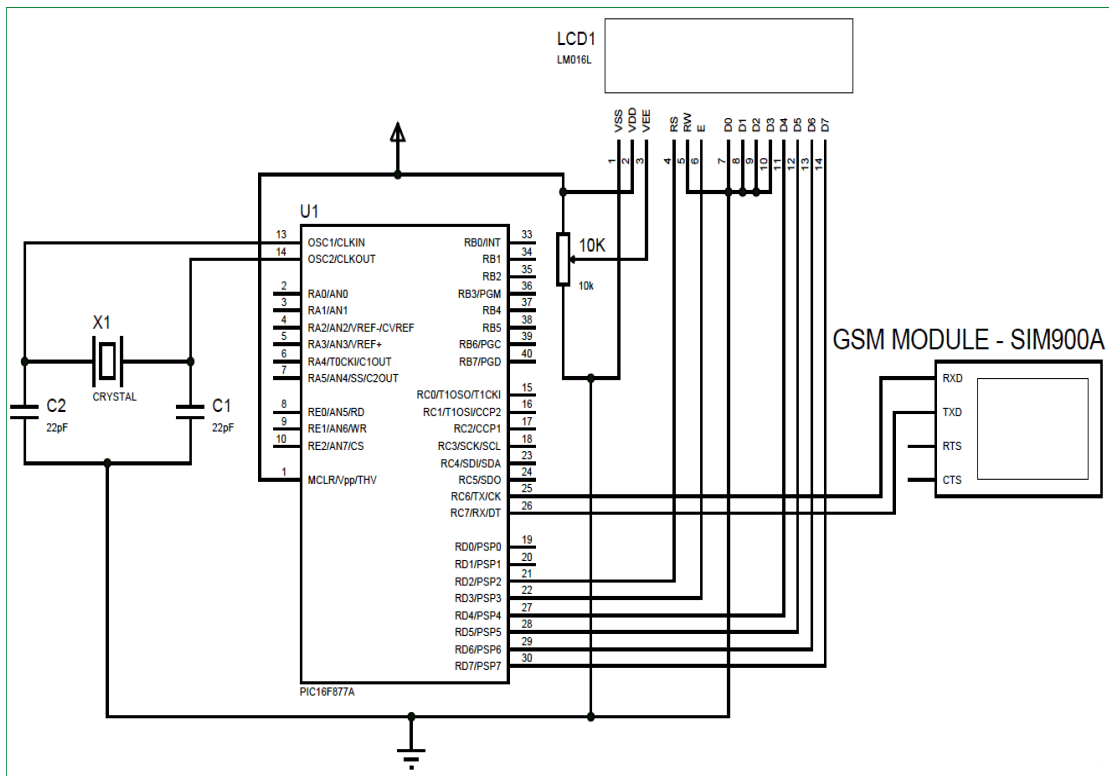


Рисунок 3.6 – Схема підключення GSM модуля до мікроконтролера PIC

Як бачите, ми з'єднали контакти Tx та Rx GSM модуля з контактами Rx та Tx мікроконтролера PIC, що дозволить встановити між ними послідовний зв'язок. Також не забудьте з'єднати загальні дроти (ground) GSM модуля та мікроконтролера.

Повний код програми наведено в кінці статті, тут ми коротко розглянемо його основні фрагменти. Код програми взаємодія з РК-дисплеєм, якщо ви раніше з ним ніколи не працювали, то радимо прочитати статтю про підключення РК-дисплея до мікроконтролера PIC.

Як ми зазначали раніше, керувати роботою GSM модуля ми за допомогою AT команд. Тому спочатку нам необхідно ініціалізувати модуль USART у мікроконтролері PIC за допомогою функції Initialize_SIM900(). Усередині цієї функції ми оголосимо контакти Tx і RX та ініціалізуємо асинхронний послідовний зв'язок зі швидкістю 9600 бод у 8-бітному режимі.

```

/**Initialize UART for SIM900**/
void Initialize_SIM900(void)

{
    /****Setting I/O pins for UART***/
    TRISC6 = 0; // TX Pin set as output
    TRISC7 = 1; // RX Pin set as input
    //_____I/O pins set _____//

    /**Initialize SPBRG register for required
    baud rate and set BRGH for fast baud_rate**/
    SPBRG = 129; //SIM900 operates at 9600 Baud rate so 129
    BRGH = 1; // for high baud_rate
    //_____End of baud_rate setting_____//

    /****Enable Asynchronous serial port***/
    SYNC = 0; // Asynchronous
    SPEN = 1; // Enable serial port pins

    //_____Asynchronous serial port enabled_____//
    /****Lets prepare for transmission & reception***/
    TXEN = 1; // enable transmission
    CREN = 1; // enable reception
    //__UART module up and ready for transmission and reception__//

    /****Select 8-bit mode**/
    TX9 = 0; // 8-bit reception selected
    RX9 = 0; // 8-bit reception mode selected
    //__8-bit mode selected__//
}
//_____UART module Initialized_____//

```

Після цього нам необхідно передавати та приймати інформацію від GSM модуля. Для цього ми запрограмуємо функції `_SIM900_putch()`, `_SIM900_getch()`, `_SIM900_send_string()`, `_SIM900_print()`. Ці функції будуть використовувати буферні регістри TXREG та RCREG для зчитування та запису даних.

```

/**Function to send one byte of date to UART**//

void _SIM900_putch(char bt)
{
    while(!TXIF); // hold the program till TX buffer is free
    TXREG = bt; //Load the transmitter buffer with the received value
}

//_____End of function_____//

/**Function to get one byte of date from UART**//
char _SIM900_getch()
{
    if(OERR) // check for Error
    {
        CREN = 0; //If error -> Reset
        CREN = 1; //If error -> Reset
    }
    while(!RCIF); // hold the program till RX buffer is free
    return RCREG; //receive the value and send it to main function
}
//_____End of function_____//

/**Function to convert string to byte**//
void SIM900_send_string(char* st_pt)
{
    while(*st_pt) //if there is a char
        _SIM900_putch(*st_pt++); //process it as a byte data
}
//_____End of function_____//
/**End of modified Codes**//

void _SIM900_print(unsigned const char *ptr) {
    while (*ptr != 0) {
        _SIM900

```

Представлені функції є універсальними і можуть бути використані і в інших проектах.

Потім всередині нашої функції `main` ми ініціалізуємо з'єднання з USART і чекаємо доки GSM модуль не відповість нам "OK", що означатиме, що він готовий до роботи

```

do
{

```

```

    Lcd_Set_Cursor(2,1);
    Lcd_Print_String("Module not found");
    }while (!SIM900_isStarted()); //wait till the GSM to send back "OK"
    Lcd_Set_Cursor(2,1);
    Lcd_Print_String("Module Detected ");
    __delay_ms(1500);

/*Check if the SIM card is detected*/
do
{
    Lcd_Set_Cursor(2,1);
    Lcd_Print_String("SIM not found ");
    }while (!SIM900_isReady()); //wait till the GSM to send back "+CPIN:
READY"
    Lcd_Set_Cursor(2,1);
    Lcd_Print_String("SIM Detected ");
    __delay_ms(1500);

```

Функція `SIM900_isReady()` передаватиме на GSM модуль команду “AT+CPIN?” і чекати відповіді “+CPIN: READY”. При отриманні цієї відповіді вона поверне 1, інакше поверне 0.

Після виявлення SIM картки ми побачимо відповідне повідомлення на РК-дисплеї. Потім ми намагатимемося здійснити дзвінок, використовуючи команду “ATDmobilenumber;”. Для прикладу ми використали номер ATD93643159XX. Ви можете замінити його на свій необхідний вам номер.

```

/*Place a Phone Call*/
do
{
    _SIM900_print("ATD93643XXXXX;\r\n"); //Here we are placing a call to
number 93643XXXXX
    Lcd_Set_Cursor(1,1);
    Lcd_Print_String("Placing Call....");
    }while (_SIM900_waitResponse() != SIM900_OK); //wait till the ESP send
back "OK"
    Lcd_Set_Cursor(1,1);
    Lcd_Print_String("Call Placed....");
    __delay_ms(1500);

```

Під час здійснення дзвінка на екран РК-дисплея буде виведено повідомлення "Call Placed...." і ви зможете приймати вхідні дзвінки з цього номера.

Також можна здійснити вхідний дзвінок на номер SIM картки, вставленої в модуль GSM. Відповідне повідомлення про це також буде виведено на РК-дисплей.

```

while(1)
{
    if (_SIM900_waitResponse() == SIM900_RING) //Check if there is an
incoming call
    {
        Lcd_Set_Cursor(2,1);
        Lcd_Print_String("Incoming Call!!.");
    }
}

```

Коли модуль GSM буде виявляти вхідний дзвінок він буде відображати його на другому рядку РК дисплея. Функція `_SIM900_waitResponse()` буде перевіряти дані, що приймаються GSM модулем. Коли вона прийматиме `SIM900_RING`, що в нашому випадку буде еквівалентно “RING” через `waitResponse()`, ми будемо відображати на РК-дисплеї “Incoming call”.

Також можна створити свій власний набір функцій для роботи з GSM модулем. Також ви можете використовувати функцію `__SIM900_print()` для передачі будь-якої команди AT на модуль, наприклад:

```
_SIM900_print("AT+CPIN?\r\n");
```

Перш ніж приступати до складання проекту в "реальному залізі", ви можете змодельовати його роботу в симуляторі Proteus. Схема проекту у цьому симуляторі наведено на наступному малюнку.

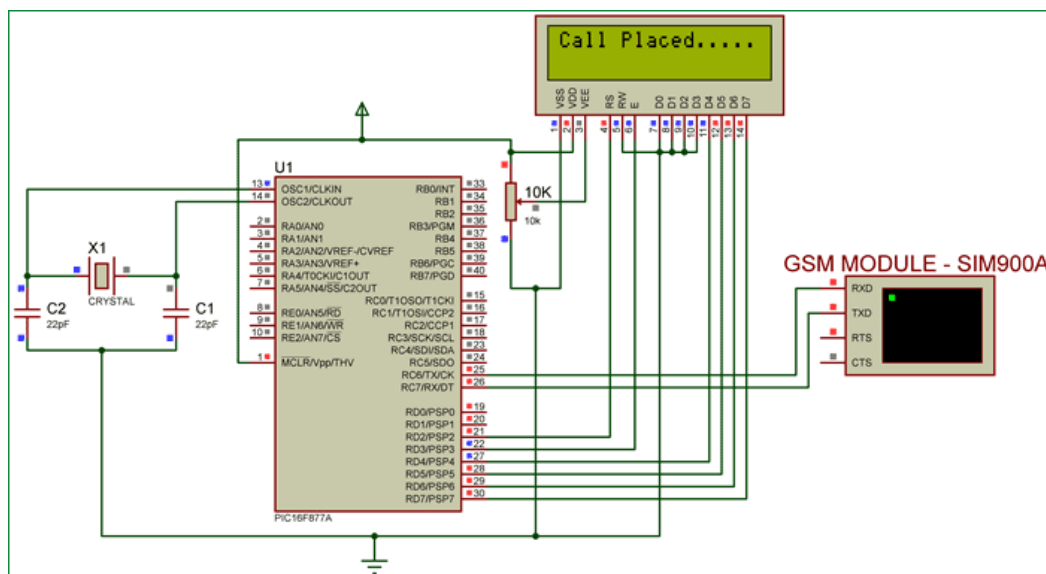


Рисунок 3.7 – Схема в симуляторі Proteus

Як ви можете бачити, ми в Proteus використовували опцію віртуального терміналу, щоб перевірити, що програма відповідає необхідним чином. Ми можемо передати ці дані через діалогове вікно (pop-up dialog box). При запуску проекту на виконання буде з'являтися чорне діалогове вікно, в якому ви можете вводити команди AT для їх передачі на модуль GSM. Також ми можемо вводити відповіді модуля мікроконтролера PIC, наприклад, "OK". Лістинг програми наведено додатку А.

Висновки до розділу 3

В заключному розділі було намічено шляхи розв'язання поставленої задачі. Зокрема прийнято рішення про застосування технології MIMO для покращення рівня покриття. Розроблено програмний код, який активує режим роботи MIMO на базових станціях та на кінцевих терміналах.

ВИСНОВКИ

В першому розділі проведений аналіз розвитку та впровадження мереж мобільного зв'язку на території України протягом останніх кількох десятиліть. У існуючих мережах GSM не може бути забезпечений необхідний рівень надання високошвидкісних сервісів.

Як показав аналіз, для впровадження високошвидкісної бездротової мережі та підвищення якості зв'язку в умовах нестабільного і поганого покриття найбільш ефективним є вибір технології UMTS/HSPA, як найбільш вигідний шлях розвитку мобільних мереж у районі планування мережі за всіма аспектами.

Основною вимогою до мережі UMTS/HSPA є обслуговування користувачів мережі на всій зоні покриття із забезпеченням високошвидкісного доступу в офісних та житлових приміщеннях на базі фемтостільників до всіх ресурсів мережі з високим рівнем якості.

В роботі буде проведено дослідження параметрів QoS при впровадженні технології HSPA із використанням фемтостільників на території адміністративного центра міста Донецька

Другий розділ дипломної роботи було присвячено побудови та організації мережі GSM.

В розділі розглянуті основні підходи до побудови мереж. Зокрема детально розглянуті основні способи модуляції, визначено розподіл частотних каналів, мовних каналів, каналів управління.

Детально проаналізована ієрархічна структура мережа, основні компоненти GSM, які використовуються для розгортання мереж будь якого масштабу та складності, і по суті є невідомими.

В заключному розділі було намічено шляхи розв'язання поставленої задачі. Зокрема прийнято рішення про застосування технології MIMO для

покращення рівня покриття. Розроблено програмний код, який активує режим роботи MIMO на базових станціях та на кінцевих терміналах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вішневський В.М., «Широкопasmові безпроводні мережі передачі інформації». М.: Техносфера, 2005 – 592 с.: іл.
2. Технологія HSPA [електронний ресурс] / - Режим доступу: <http://www.3GPPForum.com>
3. Тихвинський В. О., Терентєв С.В. «Інноваційний аналіз технологій бездротового широкопasmового доступу»/ Журнал «Телеком / Мережі й засоби зв'язку»- Спеціальний випуск «Мережі доступу», №1-2007, с.86-93.
4. Glore, N. & Mishra, A., Chapter 11 «Privacy and Security in Femto Networks» in «3G Standards and Security» (Edited by M. Ilyas & S. Ahson), CRC Press, June 2007
5. [електронний ресурс] / - Режим доступу: www.unidata.com.ua
6. ДСТУ ISO 9004-2-96 Державний стандарт України керування якістю й елементами якості, Частина 2, Вказівки по послугам - Київ, Держстандарт України 1997
7. Лупанін В.С., Якість послуг зв'язку: всебічна оцінка [електронний ресурс] / - Режим доступу: <http://www.osp.ru/nets/> 2010/05/13002124/
8. 3G System Evalution Methodology, V2.1. Created on July, 2008
9. Богомолва Н.Е., Усманов П.Ю., Особливості побудови мереж широкопasmового радіодоступу, [електронний ресурс] / - Режим доступу до статті: <http://www.st-s.ru/publications/2009/5/articles/usmanov/index.htm>
10. Тихвинський В.О., Терентєв С.В., Параметри якості послуг у мережах 3G [електронний ресурс] / - Режим доступу до статті: <http://www.media-publisher.ru/pdf/Nom-4-6.pdf>
11. Шахнович И. Архітектура фемтомережі: основні елементи й принципи. - Перша миля, 2009, №1, с.6–15.

12. 802.16-2004 IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems " June 24, 2004, 219-217
13. Оліфер В.Г., Оліфер Н.А. «Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи" / - СПб: Пітер, 2000 – 672с.
14. ETSI TS 102250-1.Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 1: Identification of Quality of Service aspects.
15. Стекольнік Б., Цифровий зв'язок. Москва, Санкт-Петербург, Київ, 2003.
16. Назаров А.Н. "Моделі й методи розрахунку структурно-мережних параметрів мереж". М.: Гаряча лінія - Телеком, 2002. - 256 с.: іл.
17. Прокіс Джон, "Цифровий зв'язок". - М.: Радіо й зв'язок. 2000.
18. Серієнко А.Б., Цифрова обробка сигналів,. Спб.: Пітер, 2003.
19. ETSI TS 102250-2.Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation.
20. Andrews, Jeffrey G. Fundamentals of 3G : understanding broadband wireless networking / Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, RiasMuhamed./ Boston, Prentice Hall, 2007.

ДОДАТК А – Лістинг програми

```

// CONFIG
#pragma config FOSC = HS           // Oscillator Selection bits (HS
oscillator)
#pragma config WDTE = OFF           // Watchdog Timer Enable bit (WDT
disabled)
#pragma config PWRTE = OFF          // Power-up Timer Enable bit (PWRT
enabled)
#pragma config BOREN = OFF          // Brown-out Reset Enable bit (BOR
enabled)
#pragma config LVP = OFF            // Low-Voltage (Single-Supply) In-Circuit
Serial Programming Enable bit (RB3 is digital I/O, HV on MCLR must be used for
programming)
#pragma config CPD = OFF            // Data EEPROM Memory Code Protection bit
(Data EEPROM code protection off)
#pragma config WRT = OFF            // Flash Program Memory Write Enable bits
(Write protection off; all program memory may be written to by EECON control)
#pragma config CP = OFF             // Flash Program Memory Code Protection
bit (Code protection off)
//End of CONFIG registers

#define _XTAL_FREQ 2000000
#define RS RD2
#define EN RD3
#define D4 RD4
#define D5 RD5
#define D6 RD6
#define D7 RD7
#define SIM900_OK 1
#define SIM900_READY 2
#define SIM900_FAIL 3
#define SIM900_RING 4
#define SIM900_NC 5
#define SIM900_UNLINK 6

#include<xc.h>

// Wait for any response on the input
inline unsigned char _SIM900_waitResponse(void);
    int recv;
    char p =1;

```

```

//LCD Functions Developed by Circuit Digest.
void Lcd_SetBit(char data_bit) //Based on the Hex value Set the Bits of
the Data Lines
{
    if(data_bit& 1)
        D4 = 1;
    else
        D4 = 0;
    if(data_bit& 2)
        D5 = 1;
    else
        D5 = 0;
    if(data_bit& 4)
        D6 = 1;
    else
        D6 = 0;
    if(data_bit& 8)
        D7 = 1;
    else
        D7 = 0;
}

void Lcd_Cmd(char a)
{
    RS = 0;
    Lcd_SetBit(a); //Incoming Hex value
    EN = 1;
    __delay_ms(4);
    EN = 0;
}

void Lcd_Clear()
{
    Lcd_Cmd(0);
    Lcd_Cmd(1); }

void Lcd_Set_Cursor(char a, char b)
{
    char temp,z,y;
    if(a== 1)
    {
        temp = 0x80 + b - 1; //80H is used to move the curser
        z = temp>>4;
    }
}

```

```

y = temp & 0x0F;
Lcd_Cmd(z);
Lcd_Cmd(y);
}
else if(a== 2)
{
temp = 0xC0 + b - 1;
z = temp>>4;
y = temp & 0x0F;
Lcd_Cmd(z);
Lcd_Cmd(y);
}
}

void Lcd_Start()
{
    Lcd_SetBit(0x00);
    for(int i=1065244; i<=0; i--) NOP();
    Lcd_Cmd(0x03);
    __delay_ms(5);
    Lcd_Cmd(0x03);
    __delay_ms(11);
    Lcd_Cmd(0x03);
    Lcd_Cmd(0x02); //02H is used for Return home -> Clears the RAM and
initializes the LCD
    Lcd_Cmd(0x02); //02H is used for Return home -> Clears the RAM and
initializes the LCD
    Lcd_Cmd(0x08); //Select Row 1
    Lcd_Cmd(0x00); //Clear Row 1 Display
    Lcd_Cmd(0x0C); //Select Row 2
    Lcd_Cmd(0x00); //Clear Row 2 Display
    Lcd_Cmd(0x06);
}

void Lcd_Print_Char(char data) //Send 8-bits through 4-bit mode
{
    char Lower_Nibble,Upper_Nibble;
    Lower_Nibble = data&0x0F;
    Upper_Nibble = data&0xF0;
    RS = 1; // => RS = 1
    Lcd_SetBit(Upper_Nibble>>4); //Send upper half by shifting
by 4
    EN = 1;

```

```

    for(int i=2130483; i<=0; i--) NOP();
    EN = 0;
    Lcd_SetBit(Lower_Nibble); //Send Lower half
    EN = 1;
    for(int i=2130483; i<=0; i--) NOP();
    EN = 0;
}

void Lcd_Print_String(char *a)
{
    int i;
    for(i=0;a[i]!='\0';i++)
        Lcd_Print_Char(a[i]);
}

/*****End of LCD Functions*****/

/**** UART для SIM900****/
void Initialize_SIM900(void)
{
    /****Setting I/O pins for UART****/
    TRISC6 = 0; // TX Pin set as output
    TRISC7 = 1; // RX Pin set as input
    //_____I/O pins set _____//

    /**Initialize SPBRG register for required
    baud rate and set BRGH for fast baud_rate**/
    SPBRG = 129; //SIM900 operates at 9600 Baud rate so 129
    BRGH = 1; // for high baud_rate
    //_____End of baud_rate setting_____//

    /****Enable Asynchronous serial port*****/
    SYNC = 0;
    SPEN = 1; // Enable serial port pins
    //_____Asynchronous serial port enabled_____//

    /**Lets prepare for transmission & reception**/
    TXEN = 1;
    CREN = 1;
    //__UART module up and ready for transmission and reception__//

    /**выбираем 8-битный режим**/
    TX9 = 0;

```

```

    RX9    = 0;
    //__8-bit mode selected__//
}

//_____UART module Initialized_____//
void _SIM900_putch(char bt)
{
    while(!TXIF);
    TXREG = bt;
}
//_____End of function_____//
char _SIM900_getch()
{
    if(OERR)
    {
        CREN = 0; //If error -> Reset
        CREN = 1; //If error -> Reset
    }
    while(!RCIF);
    return RCREG; }
//_____End of function_____//

void SIM900_send_string(char* st_pt)
{
    while(*st_pt) //if there is a char
        _SIM900_putch(*st_pt++); //process it as a byte data
}
//_____End of function_____//
/**End of modified Codes**//

void _SIM900_print(unsigned const char *ptr) {
    while (*ptr != 0) {
        _SIM900_putch(*ptr++);
    }
}

bit SIM900_isStarted(void) {
    _SIM900_print("AT\r\n");
    return (_SIM900_waitResponse() == SIM900_OK);
}

bit SIM900_isReady(void) {
    _SIM900_print("AT+CPIN?\r\n");

```

```

    return (_SIM900_waitResponse() == SIM900_READY);
}

inline unsigned char _SIM900_waitResponse(void) {
    unsigned char so_far[6] = {0,0,0,0,0,0};
    unsigned const char lengths[6] = {2,12,5,4,6,6};
    unsigned const char* strings[6] = {"OK", "+CPIN: READY", "ERROR",
"RING", "NO CARRIER", "Unlink"};
    unsigned const char responses[6] = {SIM900_OK, SIM900_READY,
SIM900_FAIL, SIM900_RING, SIM900_NC, SIM900_UNLINK};
    unsigned char received;
    unsigned char response;
    char continue_loop = 1;
    while (continue_loop) {
        received = _SIM900_getch();
        for (unsigned char i = 0; i < 6; i++) {
            if (strings[i][so_far[i]] == received) {
                so_far[i]++;
                if (so_far[i] == lengths[i]) {
                    response = responses[i];
                    continue_loop = 0;
                }
            } else {
                so_far[i] = 0;
            }
        }
    }
    return response;
}

void main(void)
{
    //I/O Declarations//
    TRISD = 0x00; //LCD pins on port D as output
    //End of I/O declaration//
    Lcd_Start();
    Initialize_SIM900();//lets get our Serial ready for action
    Lcd_Set_Cursor(1,1);
    Lcd_Print_String("SIM900 & PIC");

    /*Check if the SIM900 communication is successful*/
    do
    {

```

```

    Lcd_Set_Cursor(2,1);
    Lcd_Print_String("Module not found");
    }while (!SIM900_isStarted());
    Lcd_Set_Cursor(2,1);
    Lcd_Print_String("Module Detected ");
    __delay_ms(1500);

    /*Check if the SIM card is detected*/
    do
    {
        Lcd_Set_Cursor(2,1);
        Lcd_Print_String("SIM not found ");
    }while (!SIM900_isReady());    Lcd_Set_Cursor(2,1);
    Lcd_Print_String("SIM Detected ");
    __delay_ms(1500);

    Lcd_Clear();

    /*Place a Phone Call*/
    do
    {
        _SIM900_print("ATD93643XXXXX;\r\n"); //Here we are placing a call to
number 93643XXXXX
        Lcd_Set_Cursor(1,1);
        Lcd_Print_String("Placing Call....");
    }while (_SIM900_waitResponse() != SIM900_OK); //wait till the ESP send
back "OK"
    Lcd_Set_Cursor(1,1);
    Lcd_Print_String("Call Placed....");
    __delay_ms(1500);

    while(1)
    {
        if (_SIM900_waitResponse() == SIM900_RING) //Check if there is an
incoming call
        {
            Lcd_Set_Cursor(2,1);
            Lcd_Print_String("Incoming Call!!.");
        }
    }
}

```