

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Стільникова система передачі пакетних даних»

Виконавець: _____ Данило БОНЗ
(підпис)

Керівник: _____ Анатолій ТАРАНЕНКО
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Бонза Данила Леонідовича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Стільникова система передачі пакетних даних» затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст
2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: розробити стільникову систему передачі пакетних даних на основі технології CDMA.
4. Зміст пояснювальної записки: структура стільникової мережі, множинний доступ на основі CDMA, пакетний радіоінтерфейс.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: слайди презентації в програмному пакеті Microsoft Power Point.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	22.05.2023- 24.05.2023	Виконано
2	Вступ	25.05.2023	Виконано
3	Структура стільникової мережі	26.05.2023- 27.05.2023	Виконано
4	Множинний доступ на основі CDMA	30.05.2023- 02.06.2023	Виконано
5	Пакетний радіоінтерфейс	03.06.2023- 08.06.2023	Виконано
6	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	09.06.2023- 11.06.2023	Виконано

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис керівника)

Анатолій ТАРАНЕНКО
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Данило БОНЗ
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Стільникова система передачі пакетних даних» містить 57 сторінки, 11 рисунків, 5 таблиць, 9 використаних джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, МНОЖИННИЙ ДОСТУП, КОДОВЕ РОЗДІЛЕННЯ КАНАЛІВ, ЧАСТОТНИЙ РЕСУРС, ЧАСОВЕ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – стільникова система стандарту 3GPP2. і методи пришвидшення передачі пакетних даних.

Предмет дослідження – процес передачі пакетних даних в радіоінтерфейсі стільникової мережі.

Основна мета роботи полягає у розробці стільникової системи, яка забезпечує широкий діапазон швидкостей передачі пакетних даних.

Метод дослідження – аналіз наукової літератури, порівняльний метод, структурний аналіз, аналіз і синтез сигналів.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при вивченні вдосконалених протоколів передачі даних в системах цифрового зв'язку.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. СТРУКТУРА СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ	
1.1. Принцип стільникового зв'язку.....	9
1.2. Система передачі пакетних даних.....	14
РОЗДІЛ 2 Множинний доступ на основі CDMA	
2.1. Кодові послідовності.....	21
2.2. Структура передавача.....	28
2.3. Структура приймача.....	33
РОЗДІЛ 3. Пакетний радіоінтерфейс	
3.1. Розподіл частотного ресурсу.....	39
3.2. Передача даних з часовим мультиплексуванням.....	43
3.3. Методи збільшення швидкості передачі даних.....	47
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

GPRS - General Packet Radio Service

SMS - ShortMessageService

MMS - Multimedia Messaging Service

CB - Cell Broadcast

CDMA - Code Division Multiple Access

LNA - Low-noise amplifier

DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

TDM - Time Division Multiplexing

STM - Static Time Division Multiplexing

CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)

TDMA - Time Division Multiple Access

LFSR - Linear Feedback Shift Register

ВСТУП

Актуальність теми. Тема "Стільникова система передачі пакетних даних" залишається актуальною і важливою в сучасному світі. Стільникові системи забезпечують мобільний зв'язок та передачу даних для мільярдів людей по всьому світу. Передача пакетних даних в стільникових мережах є основою для розробки та функціонування безлічі послуг, таких як мобільний інтернет, голосова та відео комунікація, месенджери, соціальні мережі, мобільні додатки і багато інших.

Мета і завдання дослідження. Основна мета роботи полягає у дослідженні, аналізі та оцінці стільникової системи передачі пакетних даних, з фокусом на її технологічному розвитку, безпеці, ефективності та проблемах, що виникають при передачі даних через цю систему. Крім того, вона спрямована на вивчення новітніх тенденцій у цій галузі та виявлення можливостей для подальшого покращення стільникової передачі пакетних даних. Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. Аналіз структури стільникової мережі;
2. З'ясувати як працює множинний доступ на основі CDMA;
3. Особливості пакетного радіоінтерфейсу.

Об'єктом дослідження – розвиток стільникової мережі і методи пришвидшення передачі пакетних даних

Предметом дослідження – провайдер INTERTELEKOM і можливість пришвидшення швидкості передачі даних

Методи досліджень. Аналіз літературних джерел: Вивчення наукових статей, книг, журналів та інших літературних джерел, що стосуються стільникових систем передачі пакетних даних. Це дозволяє отримати загальне розуміння теми, ознайомитися з попередніми дослідженнями, концепціями та технологіями.

Практичне значення отриманих результатів.

Результати досліджень можуть допомогти виявити проблеми та бар'єри, що обмежують швидкість та ефективність передачі даних у стільниковій системі. Це може привести до розробки та впровадження нових технологій, алгоритмів та стратегій для покращення якості зв'язку та забезпечення швидкого доступу до мережі для користувачів. Вдосконалення мережевого планування: Аналіз результатів може допомогти в розробці оптимального мережевого плану, включаючи розміщення базових станцій, налаштування антен та розподіл ресурсів. Це може покращити покриття мережі, знизити перекриття сигналів та забезпечити кращу якість зв'язку для користувачів. Розробка нових сервісів та додатків: Вивчення стільникової системи передачі пакетних даних може виявити можливості для розробки нових сервісів, додатків та рішень, що використовують цю систему. Наприклад, на основі результатів досліджень можуть бути створені нові сервіси з ширококутовим доступом до Інтернету, стрімінгових послуг, інтернету речей тощо. Вдосконалення технічної підтримки: Отримання детального розуміння роботи стільникової системи передачі пакетних даних може покращити технічну підтримку та обслуговування. Результати досліджень можуть використовуватися для покращення діагностики проблем, виявлення вразливостей та запобігання виникненню відмов у роботі мережі.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

РОЗДІЛ 1

СТРУКТУРА СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ

1.1. Принцип стільникового зв'язку

Стільниковий зв'язок - це технологія бездротового зв'язку, яка використовує радіохвилі для передачі голосової інформації та даних. Принцип стільникового зв'язку базується на роботі станцій зв'язку, розташованих у певній місцевості та з певним радіусом покриття, які називаються "стільниками" або "стільниковими майданчиками" (звідси і назва "стільниковий зв'язок"). Кожна комірка має станцію зв'язку, яка забезпечує з'єднання з мобільними терміналами в комірці. Здійснення дзвінка в мережі стільникового зв'язку включає наступні кроки: 1. Коли користувач телефонує з мобільного пристрою, сигнал передається на найближчу базову станцію. 2. Базова станція приймає сигнал і встановлює з'єднання з мобільним пристроєм. Вона також відповідає за визначення частотного ресурсу, необхідного для цього з'єднання. 3. Базова станція передає сигнал на базову станцію, яка, в свою чергу, передає сигнал на центральний комутатор або мобільну телефонну станцію. 4. Центральний комутатор або мобільна телефонна станція обробляє сигнал і передає його на приймальну станцію в мережі абонента, з яким встановлюється з'єднання. 5. Приймаюча станція перетворює сигнал на звичайну мову або дані, які може розпізнати користувач. 6. Процес надсилання та отримання даних є двонаправленим до завершення розмови або обміну даними. Цей принцип дозволяє стільниковим мережам обслуговувати багато користувачів одночасно і покривати великі території, розміщуючи станції зв'язку в потрібних місцях. Стільниковий зв'язок лежить в основі таких мобільних мереж, як 2G, 3G, 4G і 5G, які використовуються для передачі голосових дзвінків, текстових повідомлень, мультимедійних даних і доступу до Інтернету з мобільних пристроїв.

Проста бездротова система зв'язку не в змозі забезпечити доступ великій кількості кінцевих користувачів, і як тільки виникає перевантаження, в мережі

виникають проблеми. При перевантаженнях виникають проблеми в мережі через пропускну здатність системи. Перевантаження також викликають проблеми в мережі через пропускну здатність мережі. Нижче наведені основні проблеми, пов'язані з базовими характеристиками бездротового зв'язку в таких простих системах

По-перше, для забезпечення одночасного двостороннього зв'язку публічні бездротові локальні мережі повинні мати систему передачі зі зворотним зв'язком. Система передачі повинна бути системою зі зворотним зв'язком. Тому недоцільно, наприклад, надавати такі послуги, як не можна надавати такі послуги, як радіонавігація. Крім того, рівень сигналу на приймачі погіршиться. Наслідком цього є те, що зі збільшенням відстані між ретранслятором і приймачем якість обслуговування погіршується в районах, віддалених від приймача стає неприйнятною. По-друге, кожен передавач може забезпечити кінцевим користувачам лише обмежену кількість каналів одночасно. кількість радіоліній або каналів, що використовуються одночасно. Не існує способу усунути ці проблеми, окрім як шляхом адаптації структури мережі. Немає іншого способу вирішити ці проблеми, окрім як змінити структуру мережі.

Індустрія мобільного зв'язку потребує досить ретельного перегляду своєї структури. Індустрія мобільного зв'язку потребує досить ґрунтовного перегляду своєї структури. Основна ідея проста. Припустимо, наприклад, ви плануєте бездротову мережу для міста. Припустимо, ви плануєте бездротову мережу у великому місті з мільйонами користувачів мобільних телефонів.

За принципом стільникового зв'язку велика територія ділиться на кілька менших зон обслуговування, які називаються стільниками, що поділяється на кілька менших зон обслуговування, які називаються стільниками. Кожна комірка має базову станцію, що забезпечує ємність для певної кількості абонентів за допомогою малопотужних сигналів, що передаються з базової станції. Передаючи малопотужні сигнали в сантиметрах, на рисунку 1.1 показано мережевий кластер з сімома стільниками, з сімома комірками.

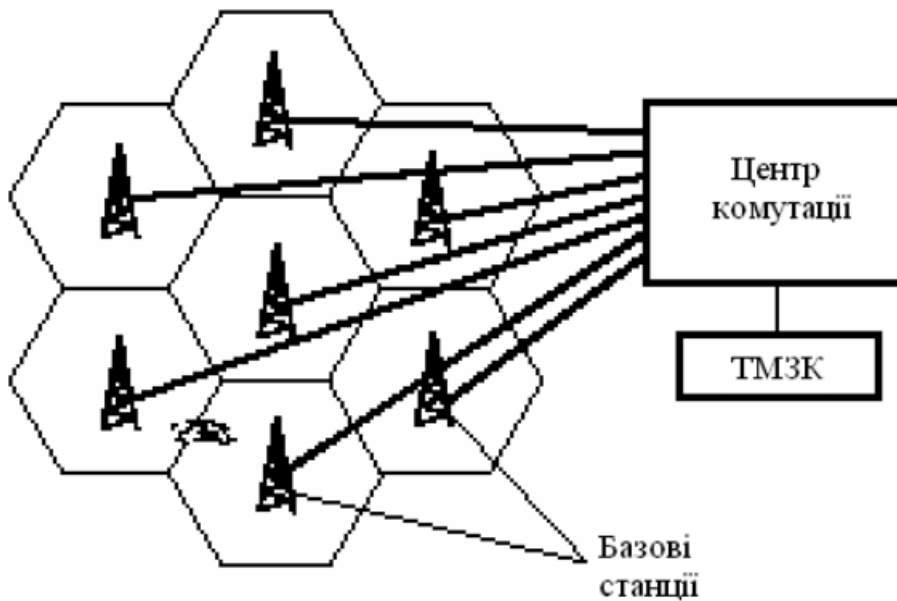


Рис. 1.1. Мережевий кластер з сімома стільниками

Природа бездротового зв'язку і принцип поділу стільників є відправною точкою, на якій базується сучасний мобільний зв'язок є відправною точкою, на якій базуються сучасні мобільні мережі. На рисунку 1.2 показано структуру бездротових мереж, побудованих за принципом стільникового зв'язку.

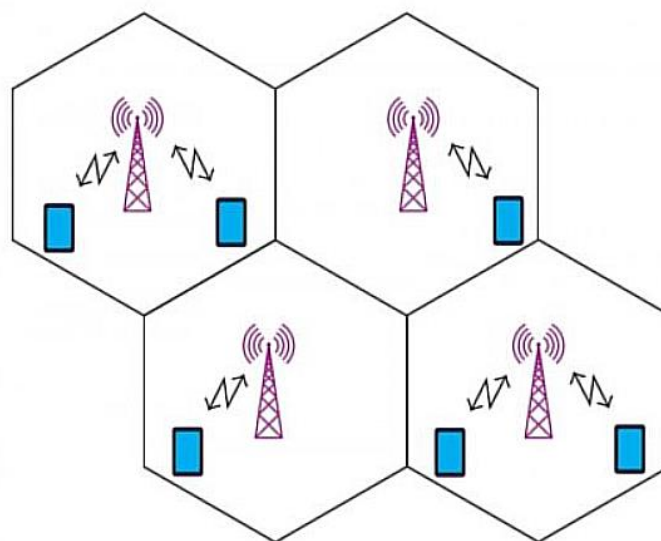


Рис. 1.2. Спрощена архітектура стільникової мережі

Типова сучасна стільникова мережа складається з базової станції, комутаційної мережі та мережі фіксованого зв'язку для передачі мережі комутації та мережі фіксованого зв'язку для передачі інформації до магістралі. Стільникова структура радіомережі вирішує основні проблеми, пов'язані з пропускнуою здатністю радіомережі, але стикається з наступними новими проблемами

Вона стикається з новими проблемами:

- Перешкоди внаслідок стільникової структури, включаючи між- та внутрішні взаємні перешкоди
- Проблеми з мобільністю абонентів
- Недостатність радіоресурсів у кожній комірці.

Розглянемо стільникову систему з асинхронними користувачами, які можуть працювати разом, але обслуговуються однією базовою станцією, що використовує одну і ту ж смугу частот. Кожна зона покриття або комірka обслуговується однією базовою станцією. Тому кожна базова станція здатна приймати мобільні пристрої в хост-комірці, а також кожна базова станція отримує перешкоди не тільки від мобільних пристроїв у власній комірці, але й від мобільних пристроїв та базових станцій у сусідніх комірках. Залежно від джерела перешкод від сусідніх стільників, перешкоди можуть бути внутрішньостільниковий паразит (комбінований протоковий паразит 1а), міжстільникові перешкоди (перешкоди від сусідніх стільників) і теплові перешкоди. Перешкоди можна розділити на три категорії. Отже, як показано на рисунку 1.3. для того щоб впоратись з



Рис. 1.3. Міжстільникові і внутрішньостільникові перешкоди

усіма перешкодами, необхідно використовувати перешкоди абонентських терміналів, перешкоди всередині комірки та від сусідніх комірок. Стільникові мережі є методом вторинного використання частот, у цій схем кожна сота частина кластера використовує іншу частоту. Кластери використовують різні частоти, тому коефіцієнт повторного використання частот є ключовим параметром мережі мобільних телефонів і є ключовим параметром у мережах стільникового зв'язку. Він може бути показником ефективності використання частот і може бути показником ефективності шляхом оптимізації, оптимізуючи повторюваність часу. Завдяки оптимізації повторюваності часу можна значно зменшити завади від сусідніх стільників, і каналів, що містяться в них. Оптимізуючи коефіцієнт повторюваності можна значно зменшити перешкоди суміжних сот і зівміщеного каналу, поліпшити використування пропускної спосібності та показників робітників характеристик радіомережі загального, користування загалом. На рис. 1.4 нриведен приклад організації осередків-сот при стільниковій телефонії

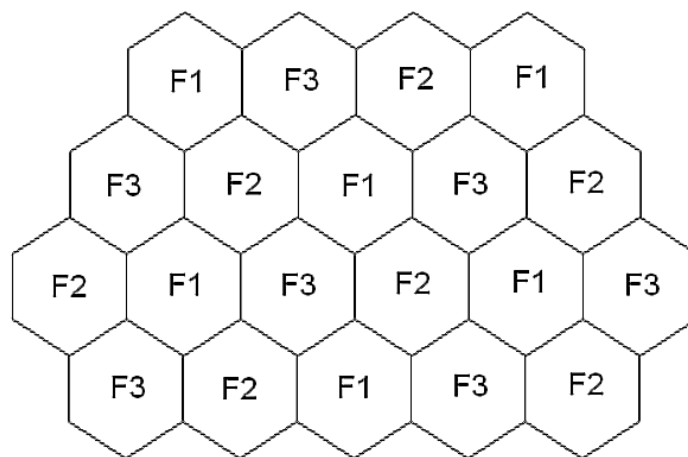


Рис. 1.4. Організації осередків-сот при стільниковій телефонії (F1, F2, F3 - частоти базових станцій)

Побудова мережі на основі стільникового зв'язку збільшує пропускну здатність радіосистеми. Пропускна здатність радіосистеми збільшується, особливо в

разі повторного використання частот із високою повторюваністю. Частоти можуть бути повторно використані з високою повторюваністю. Що менший рупор, то вища ефективність. Що менший рупор, то ефективніше використовується смуга радіочастот, але вартість системи відповідно зростає. Це означає, що під час побудови багаторівневих мереж із макро, мікро і пікокогерентними структурами можна вдосконалити принципи побудови стільникових структур і повторного використання частот і збільшити пропускну здатність системи.

На етапі планування обирається оптимальна схема мережі для збільшення ємності системи та повторного використання частот. Для збільшення ємності системи слід уникати небажаного збільшення складності базового стану. Складність основного стану знижує економічну ефективність системи. Це означає, що складні мережеві структури дають змогу бути об'єднаними та оптимізованими. Такі рішення приділяють увагу управлінню мережею нові вимоги, наприклад: мережі повинні забезпечувати мобільність пристроїв і управління передачею викликів (хендовер).

1.2. Система передачі пакетних даних

Система пакетної передачі даних - це набір протоколів, стандартів і технологій, що використовуються для передачі даних у вигляді пакетів через комунікаційну мережу, таку як Інтернет. У таких системах дані, що передаються, поділяються на невеликі блоки, які називаються пакетами. Кожен пакет містить дані, заголовок з інформацією про маршрутизацію та інші керуючі дані. Пакети надсилаються мережею окремо і можуть використовувати різні маршрути для досягнення місця призначення. Основними компонентами системи пакетної передачі даних є: передача голосової інформації - Основні функції телефонії це передача голосу та сигналізація. Найбільш очевидною функцією телефону є голосовий зв'язок між віддаленими абонентами. Голос абонента А повинен передаватися абоненту Б з мінімальною затримкою і навпаки. Телефонні розмови повинні бути максимально ідентичними розмовам віч-на-віч. У телефонії передача

голосу здійснюється за допомогою електронних засобів. Другою важливою функцією телефонного зв'язку є передача і обробка службової інформації або сигналізації. Щоб зателефонувати людині, необхідно набрати телефонний номер. В результаті обробки телефонного номера визначається маршрут передачі голосової інформації від абонента до абонента, на телефоні вхідного абонента лунає голосовий сигнал, а вихідний абонент отримує інформацію про стан з'єднання (наприклад, немає відповіді, абонент зайнятий іншим викликом, абонент не може зв'язатися). Типовий сценарій телефонної розмови показано на рисунку 1.5

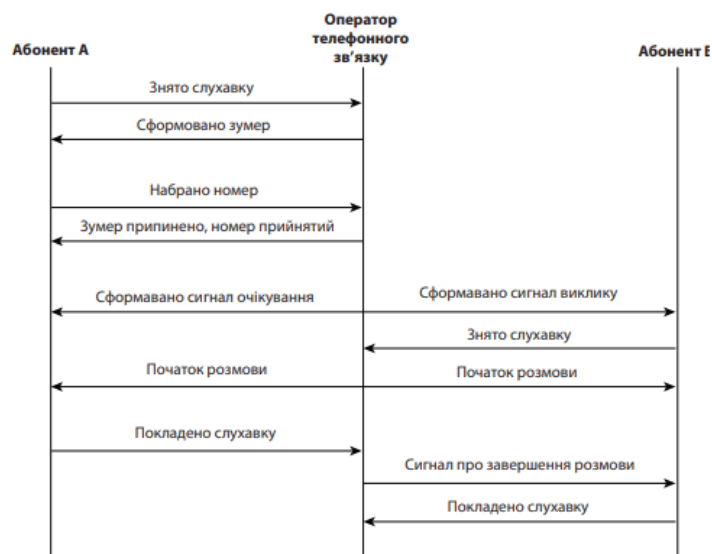


Рис. 1.5. Сценарій телефонної розмови в системі традиційної телефонії

Послуга передачі даних (синхронний та асинхронний обмін даними, в тому числі пакетна передача даних – GPRS). Передача даних є важливою послугою для обміну інформацією між різними пристроями в сучасних мережах зв'язку. Існує два основних типи передачі даних в рамках цієї послуги: синхронна передача даних та асинхронна передача даних. Синхронна передача даних - це передача даних в режимі реального часу, коли відправник і одержувач синхронізовані в часі. У цьому випадку дані передаються безперервним потоком, і кожен біт передається відразу після попереднього біта без пропусків. Цей тип передачі даних часто використовується в чутливих до часу додатках, таких як аудіо- та відеозв'язок. Для синхронної передачі даних можуть використовуватися спеціальні протоколи

передачі, такі як Synchronous Data Link Control (SDLC). Асинхронний обмін даними передбачає передачу даних без строго визначеного часового ритму. У цьому випадку кожен байт даних містить стартовий і стоповий біти для синхронізації передачі. Асинхронний зв'язок часто використовується для передачі текстової інформації, наприклад, електронних листів і текстових повідомлень. Для цього типу передачі даних можуть використовуватися такі протоколи, як Asynchronous Transfer Mode (ATM) і Point-to-Point Protocol (PPP). General Packet Radio Service (GPRS) - це технологія мобільної передачі даних, яка використовується для передачі IP-пакетів між мобільними пристроями та Інтернетом або іншими мережами. Дані передаються окремими пакетами, які розбиваються на менші блоки для передачі мережею. Це дозволяє ефективно використовувати доступну пропускну здатність мережі і є зручним для користувача, оскільки послуги передачі голосу і даних можуть використовуватися одночасно. GPRS є попередником технологій передачі даних 3G і 4G, таких як UMTS і LTE відповідно, GPRS дозволяє використовувати широкий спектр додатків, таких як доступ до Інтернету, електронна пошта, обмін миттєвими повідомленнями та інші мобільні сервіси з інтенсивним використанням даних.

Передача коротких повідомлень (SMS-ShortMessageService) - це популярна послуга в мережах мобільного зв'язку, яка дозволяє користувачам обмінюватися короткими текстовими повідомленнями. Розмір повідомлення: як правило, одне SMS-повідомлення може містити максимум 160 символів латиницею і 70 символів кирилицею. Якщо воно містить більше символів, воно буде розділене на кілька SMS, і одержувач побачить їх як одне повідомлення. За типом доставки SMS-повідомлення можуть бути доставлені в режимі "миттєвої доставки" або "зберегти і переслати". У режимі миттєвої доставки робиться спроба доставити повідомлення негайно, але повідомлення можуть бути втрачені, якщо мобільний пристрій одержувача недоступний або вимкнений. У режимі "зберегти і переслати" мережа намагається зберегти повідомлення, і воно автоматично доставляється, як тільки пристрій одержувача стає доступним. Інші функції Окрім звичайного тексту, SMS-повідомлення можуть містити ряд додаткових функцій, таких як передача

зображень, відео, аудіо, географічних координат та інших мультимедійних даних. Ці функції можуть бути реалізовані за допомогою розширень, таких як служби обміну мультимедійними повідомленнями (MMS). Вартість SMS може варіюватися залежно від тарифного плану мобільного оператора: деякі оператори пропонують безкоштовні або обмежені пакети SMS, тоді як інші стягують окрему плату за кожне повідомлення або вимагають підписки на послугу SMS. SMS - це широко використовувана послуга для сповіщень, маркетингових повідомлень, банківських і фінансових операцій та особистих повідомлень між користувачами.

MMS (Multimedia Messaging Service) - це послуга, яка дозволяє обмінюватися повідомленнями, що містять різні мультимедійні елементи, такі як зображення, відео, аудіо та текст. До основних особливостей передачі MMS-повідомлень можна віднести наступні аспекти. MMS дозволяє повідомленням містити різні мультимедійні елементи. Користувачі можуть додавати до повідомлень зображення, фотографії, відео, аудіофайли, графіку, текстові повідомлення та інші типи мультимедійного контенту. Розмір повідомлення: MMS дозволяє надсилати більший обсяг даних, ніж звичайні SMS. Розмір повідомлення може змінюватися залежно від обмежень оператора та мобільного пристрою, але загалом MMS може містити значно більше мультимедійного контенту, ніж SMS. Доставка та отримання MMS-повідомлень MMS-повідомлення доставляються через мобільну мережу на мобільний пристрій одержувача. Користувачі можуть переглядати, відтворювати та зберігати. Щоб надсилати та отримувати MMS-повідомлення, мобільний пристрій повинен підтримувати цю технологію. MMS також має підтримуватися мобільним оператором, який надає послугу MMS. Вартість MMS залежить від тарифного плану та оператора мобільного зв'язку: Вартість відправлення MMS залежить від розміру повідомлення та додаткових послуг, таких як стиснення даних і зберігання повідомлення на сервері оператора. MMS є поширеною послугою для обміну мультимедійним контентом, таким як фотографії, відео та аудіо, і відкриває нові можливості для спілкування в мобільних мережах.

Передача текстових інформаційних повідомлень через Cell Broadcast (CB) - це

послуга мобільного зв'язку, яка дозволяє операторам мобільного зв'язку надсилати текстові повідомлення широкому колу користувачів на основі їхнього географічного розташування. Ця технологія використовується для масового розповсюдження інформації, такої як надзвичайні ситуації, прогнози погоди, новини, оголошення та інші важливі повідомлення. Основними особливостями текстових повідомлень Cell Broadcast є. Групування користувачів: Стільникове мовлення дозволяє операторам мобільного зв'язку групувати користувачів на основі їхнього місцезнаходження. Кожна група асоціюється з певною зоною або "коміркою" мережі. Повідомлення надсилаються всім користувачам у цій зоні. Широке покриття: Стільникові трансляції можуть охоплювати велику кількість користувачів одночасно. Передане повідомлення надсилається на всі базові станції мережі в певному радіусі, що дозволяє безпосередньо охопити широке коло користувачів. Неактивні користувачі Перевагою стільникового мовлення є те, що повідомлення також можуть бути отримані від неактивних користувачів або користувачів, які в даний момент не використовують мобільний пристрій. Повідомлення передаються, коли відповідний користувач активує свій пристрій у мережі. Безкоштовно для одержувача: Користувачі можуть отримувати короткі інформаційні повідомлення через мобільне мовлення безкоштовно. Оператори мобільного зв'язку не стягують додаткову плату за ці повідомлення. Cell Broadcast - це ефективний і широко використовуваний інструмент для швидкої та надійної передачі коротких інформаційних повідомлень на мобільні пристрої користувачів і масового поширення важливої інформації серед великої кількості людей.

Факсимільний зв'язок - це передача документів і повідомлень по телефонній лінії. Основні етапи передачі факсу такі: підготовка документа: Документ, що надсилається, повинен бути підготовлений відповідно до вимог факсимільного апарату. Це може включати сканування документа або введення його в комп'ютер. Встановлення з'єднання: щоб надіслати факс, необхідно встановити з'єднання між двома факсами. Це можна зробити за допомогою телефонної лінії або Інтернету. Налаштування факсу: Факсимільний апарат має бути налаштований для надсилання

документів. Це може включати налаштування швидкості передачі, роздільної здатності та інших параметрів. Надсилання документа: після налаштування факсу ви можете надіслати документ. Введіть номер телефону одержувача і натисніть кнопку Надіслати. Отримання документа: одержувач повинен мати факсимільний апарат, який може прийняти документ. Після відправлення документ потрапляє на факс одержувача. Перегляд документа: після отримання документа його можна роздрукувати або зберегти в електронному вигляді.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Принцип стільникового зв'язку, що використовується в мережах мобільного зв'язку, базується на поділі території на окремі географічні зони, які називаються стільниками. Кожна комірка покриває певну територію і має власну базову станцію, яка відповідає за зв'язок з мобільними пристроями, такими як смартфони та планшети. У стільниковій системі мобільні пристрої встановлюють з'єднання з базовою станцією найближчої комірки, коли вони перебувають у зоні покриття. Перебуваючи в русі, він може перемикатися між стільниками для продовження зв'язку. Цей принцип дозволяє користувачам залишатися на зв'язку з мережею незалежно від їхнього місцезнаходження, забезпечуючи таким чином широке покриття і мобільність.

Комутація пакетів - це технологія передачі даних, в якій великі обсяги інформації поділяються на невеликі пакети і передаються мережею. Кожен пакет містить не тільки дані, але й адресу призначення, яка вказує, куди пакет повинен бути доставлений. У мережі пакети можуть йти різними маршрутами до місця призначення і можуть бути відправлені окремо один від одного. Однією з головних переваг систем пакетної передачі даних є ефективне використання пропускної здатності мережі. Оскільки пакети можуть слідувати різними маршрутами і передаватися незалежно один від одного, мережеві ресурси можуть використовуватися більш ефективно, ніж в системах з комутацією каналів. Крім того, пакетні системи передачі даних можуть передавати різні типи даних (текст, голос і відео) одночасно і мають можливість виправляти помилки передачі.

Висновок: Стільниковий принцип забезпечує широке покриття і мобільність в мережах мобільного зв'язку. Він ґрунтується на поділі території на стільники з власними базовими станціями, які забезпечують зв'язок з мобільними терміналами. Принцип пакетної передачі даних дозволяє ефективно використовувати пропускну здатність мережі та одночасно передавати різні типи даних завдяки використанню технології передачі даних пакетами.

РОЗДІЛ 2

МНОЖИННИЙ ДОСТУП НА ОСНОВІ CDMA

2.1. Кодові послідовності

Аналогові системи FDMA і цифрові системи FDMA/TDMA вимагають частотного планування, щоб дозволити багаторазове використання одних і тих же частот каналів у досить віддалених один від одного стільниках. Оскільки відстані між такими стільниками зазвичай великі, багаторазове використання частот призводить до виникнення інтерференції. Мобільні станції, що використовують одну і ту ж несучу в різних стільниках. Соти. Повторне використання частоти характеризується коефіцієнтом. Коефіцієнт повторного використання частоти є величиною, оберненою до розміру кількості стільників. Однак внутрішньоканальні перешкоди можна зменшити, використовуючи спрямовані антени. Використання кластерів несучої частоти в сусідніх комірках (секторах) в системах TDMA і FDMA вимагає швидкої зміни каналів зв'язку від поточної базової станції до сусідньої базової станції. Як тільки межа між комірками перетинається, з'єднання повинно бути швидко переключено з поточної базової станції на сусідню базову станцію. Цей процес, який вимагає зміни несучої частоти, часто називають жорстким хендвером. Якщо виникають помилки або неоднорідності, це супроводжується порушеннями в передачі з'єднання або з'єднання може бути втрачено, може навіть призвести до втрати з'єднання.

Одним з основних видів деградації в системах мобільного зв'язку вважається багатопроменеве поширення, яке призводить до завмирань. Плоскі завмирання характерні для вузькосмугових систем. Селективні завмирання спостерігаються в системах з більш широким спектром, де багатопроменеве поширення призводить до затухання. Багатопроменеве поширення виникає, коли відносна затримка компонентів сигналу, що досягають приймача, менша за величину, обернену до спектральної ширини сигналу. Амплітуди, що викликають міжсимвольну

інтерференцію, необхідно послаблювати за допомогою складних адаптивних еквалайзерів, що є недоліком систем TDMA і FDMA, таких як обмеження пропускну́ї здатності, суворя прив'язка передачі, чутливість до плоскої і селективної передачі. Подолання недоліків систем TDMA і FDMA, таких як обмеження пропускну́ї здатності, жорстке розділення каналів, чутливість до плоских і селективних завмирань, чутливість до плоских і селективних завмирань. Необхідність розвитку широкосмугових систем на основі методів доступу CDMA.

Псевдовипадкові послідовності (ПВП), що використовуються в широкосмугових системах. Системи широкосмугового зв'язку спочатку розроблялися для військового використання. Їхньою метою було приховати факт цифрового зв'язку і ускладнити перехоплення комунікацій. Мета полягала в тому, щоб ускладнити перехоплення комунікацій, ускладнити перехоплення радіопереговорів і протистояти навмисним перешкодам.

Псевдовипадкова (псевдошумова) послідовність - це суто детермінована періодична цифрова послідовність, період якої значно перевищує час передачі елемента послідовності. Тому зовнішньому світу вона здається випадковою. Це виглядає так, ніби це не так. Насправді такі послідовності не можуть бути абсолютно випадковими. Вона не може бути повністю випадковою, тому що вона повторюється приймачем. Для надійної імітації шуму енергетичний спектр сигналу повинен бути білим. Він повинен бути білим. Тому кореляційна функція повинна бути ідеальним імпульсом, тобто символи в ідеальній псевдовипадковій послідовності не повинні бути корельованими. Оскільки середнє значення "білої" послідовності дорівнює нулю, то автокореляційна функція повинна приймати нульові значення для ненульових аргументів. Друга властивість також гарантує надійне приймання сигналів, що надходять до приймача у вигляді ехо-копій, які розходяться в часі. Окремі ехо-копії є псевдовипадковими сигналами, синхронізованими з усіма прийнятими сигналами. Окремі ехо-копії можна ефективно ідентифікувати, асоціюючи їх з псевдовипадковими сигналами, синхронізованими з сигналами, які вони містять. З вищесказаного можна

стверджувати, що "білий" спектр і автокореляційна функція є необхідними властивостями для ідеального розширення PSP.

Для того, щоб розрізнити користувачів, кожен користувач повинен використовувати свою послідовність. Послідовність, яка дозволяє виділити сигнал конкретного абонента із суміші всіх сигналів, що надходять до приймача. Отже, крос-кореляційна функція всіх використовуваних послідовностей повинна дорівнювати нулю. Кореляційна функція повинна дорівнювати нулю. Це можна зробити двома способами. У невійськових застосуваннях всі користувачі використовують одну і ту ж псевдовипадкову періодичну послідовність з часовим зсувом, унікально визначеним для кожного користувача. У цьому випадку необхідно вирішити проблему ефективної генерації останньої версії заданого ПСП. Для військових завдань такий підхід вважається недостатнім і вимагає використання різних послідовностей, що взаємно виключають одна одну.

Так звані m -послідовності викликали великий інтерес і знайшли застосування завдяки простоті їхньої генерації. Вони знайшли застосування завдяки простоті їхньої генерації. Найпростіший спосіб генерації псевдовипадкових двійкових послідовностей (включаючи m -послідовності) – це використання каскадних регістрів зсуву з лінійним зворотним зв'язком. Каскадні регістри зсуву - це застосування лінійного зворотного зв'язку. На малюнку 2.1 показано приклад LFSR. Якщо N осередків пам'яті LFSR ініціалізовано в ненульовому стані, N -бітний регістр не може мати більше ніж 2^N можливих станів N -бітний регістр не може мати більше $2^N - 1$ станів. Нульовий стан має бути виключено, оскільки LFSR постійно перебуває в цьому стані. Тому період послідовності, що генерується, не може перевищувати $2^N - 1$. Якщо період дорівнює найбільшому можливому періоду, то така послідовність називається послідовністю максимальної довжини (m -послідовністю).

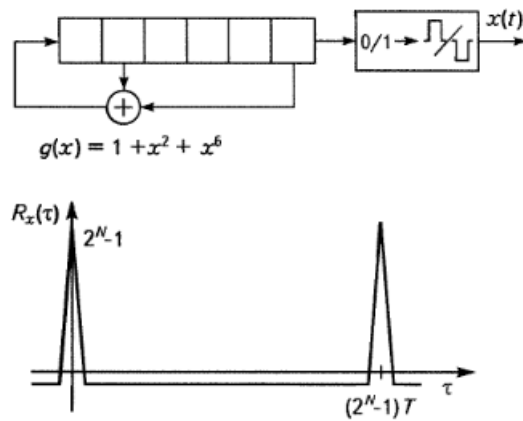


Рис. 2.1. Приклад LFSR автокореляційної функції біполярного вихідного сигналу LFSR

Висновки, які використовуються для розрахунку зворотного зв'язку, вибираються на основі відповідного полінома. Доведено, що LFSR виробляє для того щоб згенерувати L -послідовність у LFSR, поліном, що визначає її структуру, дорівнює многочлен, що визначає структуру LFSR, має бути незвідним і примітивним. Многочлен вважається незвідним, якщо він не може бути розкладений на многочлени нижчого порядку з тим самим набором коефіцієнтів.

Многочленом є корені якого є примітивними елементами суперполя $GF(2^N)$.

m -послідовність має такі властивості: 1. Властивість балансування, в одному повному циклі t -послідовності. В одному повному циклі довжини 2^N-1 кількість двійкових 1 дорівнює 2^N-1 , кількість двійкових 0 дорівнює $2^{(N-1)-1}$;

2. Властивість випадковості ряду в одному циклі послідовності. Існує.

2^N окремих серій, що складаються з послідовних 1 або 0;

3. Властивість кореляції. Автокореляційна функція біполярної m -послідовності набуває значення 1 для ненульових аргументів, а максимальне значення автокореляційної функції дорівнює 2^N-1 .

Наведені вище властивості дають змогу використовувати m -послідовності в таких додатках, системах із розподіленням спектром і в системах CDMA. Однак слід зазначити, що автокореляційна функція m -послідовності не є в точності нульовою.

Для великих N , хоча її значення $R(n) = -1$ дуже мале порівняно з $A(0) = 2^N - 1$.

m -послідовність не зовсім ортогональна до своєї копії і має тимчасове неузгодження. Тимчасове зміщення. Це може бути проблемою під час використання кількох зсунутих у часі послідовностей, які належать одному й тому самому регіону. Неповна ортогональність призводить до високого рівня шуму і обмежує кількість одночасних користувачів.

З точки зору теорії кодування, t -послідовності можна розглядати як Лінійний циклічний код $(n, k) = (2^N - 1, N)$, відомий як код максимальної довжини і дуал коду Хеммінга, являє собою одне кодове слово. У лінійних кодах відомо, що кожне кодове слово може бути синтезовано як лінійна комбінація відповідним чином підібраних кодів. Відомо, що воно може бути синтезовано як лінійна комбінація відповідним чином підібраних кодових слів. У разі кодів максимальної довжини ці $k = N$ кодових слів спостерігаються в послідовних позиціях кодового слова спостерігаються послідовно в послідовних позиціях регістра LFSR. Оскільки коди є циклічними, можна синтезувати копії (m серій) еталонних кодових слів, зрушених на будь-яку необхідну кількість циклів, шляхом додавання виходів обраних комірок пам'яті LFSR. Логічна схема, яка виконує лінійну комбінацію виходів LFSR і в результаті синтезує зсунуту за часом m -послідовність, часто називається маскою.

Послідовності Уолша (Walsh) перебували у центрі уваги 1970-х роках і вважалися серйозною альтернативою синусоїдальним сигналам, що лежать в основі аналізу Фур'є. Причиною такого інтересу була їхня точна взаємна ортогональність. Ця властивість, як відомо, є ключовою в CDMA-системі. На відміну від m -послідовностей взаємна кореляція двох різних послідовностей Уолша точно дорівнює нулю. Тому послідовності Уолша використовуються в CDMA-системі IS-95. Послідовності Уолша утворюються за допомогою рекурсивного перетворення матриць Адамара:

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad H_k = \begin{bmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & -H_{k-1} \end{bmatrix}.$$

Кожна послідовність формується рядком матриці H_k . На рис. 10.4 зображено послідовності Уолша довжиною 64 при $k = 5$. Послідовності Волша також мають деякі недоліки. Основний-це їх ненульова функція взаємної кореляції послідовності.

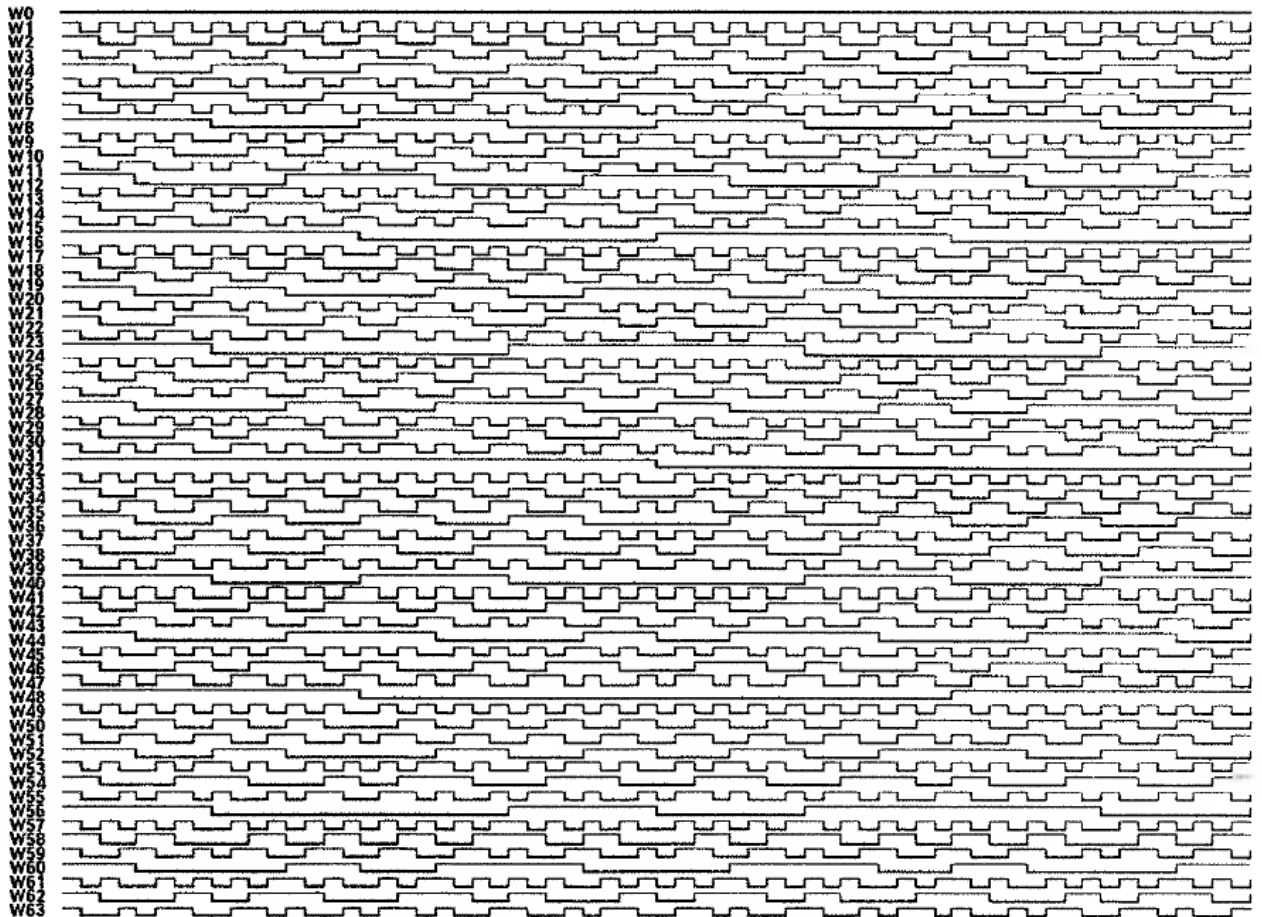


Рис. 2.2. Набір функцій Уолша довжиною 64

Уолша зі своєю циклічно зрушеною копією або з циклічно зрушеною копією іншої послідовності Уолша тієї ж довжини. Цей недолік проявляється, якщо CDMA-приймач приходять ехо-копії сигналу з різною, внаслідок багатопроменевого поширення, затримкою.

На рис. 2.3 зображені узагальнені структури CDMA-передавача та приймача. Двійковий сигнал, що представляє дані користувача, піддається кодуванню з корекцією помилок і перемежування. Отримана послідовність множиться на пару

псевдовипадкових послідовностей з чіповим періодом T_c . Множення на ПСП призводить до розсіювання та значного розширення спектра інформаційного сигналу. Чипова швидкість таких послідовностей набагато вищі швидкості передачі елементів послідовностей даних на виході кодера. Після перетворення розсіяних інформаційних послідовностей у біполярний вигляд відбувається спектральне формування біполярних імпульсів у фільтрах із передавальною функцією $H(f)$. Потім синфазна та квадратурна компоненти модулюючого сигналу зсуваються в необхідний діапазон за допомогою двох модуляторів з косинусоїдальної та синусоїдальної несучими. Сигнал $z(t)$, що приймається, зрушується назад у вихідний діапазон за допомогою синфазного і квадратурного демодуляторів, що дозволяють виділити синфазну і квадратурну компоненти.

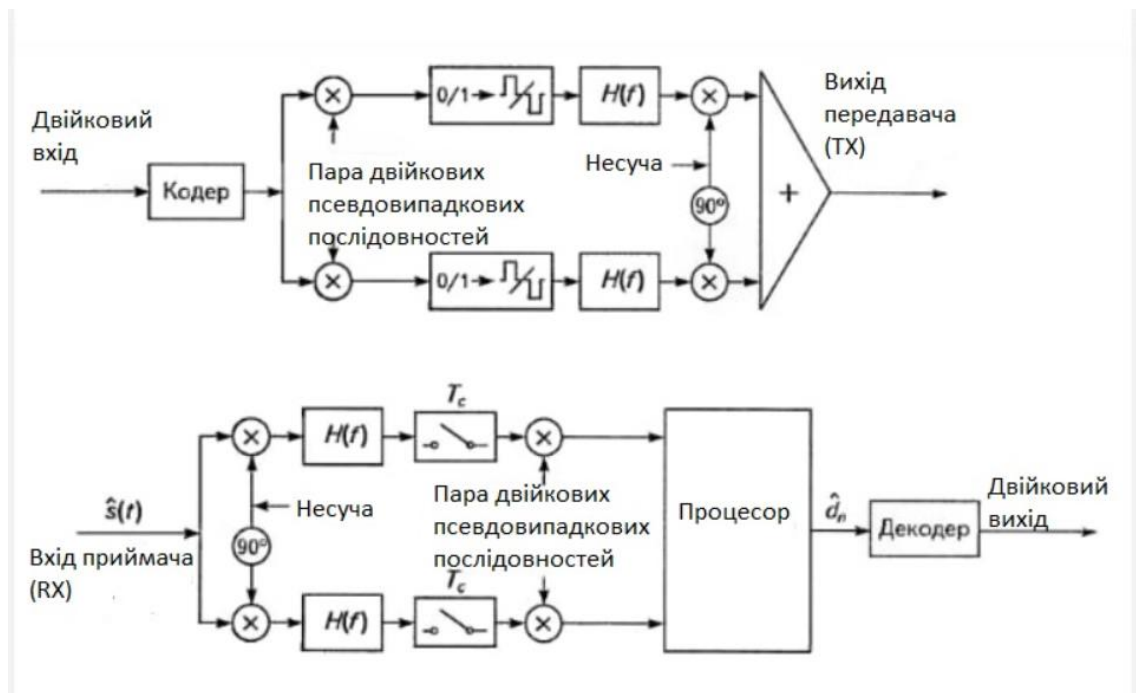


Рис. 2.3. Узагальнені структурні схеми передавача і приймача

Потім обидві компоненти проходять через приймальні фільтри $H(f)$, які одночасно здійснюють їх узгоджену фільтрацію. Фрагменти вихідного сигналу фільтра беруться з періодом T_c та множаться на ту саму пару синхронізованих псевдовипадкових послідовностей, що і в передавачі.

Прийняті фрагменти обробляються в блоці, позначеному на рис. 2.3 як процесор. В результаті цієї обробки формується наближення d_n інформаційної послідовності. Після деперемежування і декодування послідовності d_n отримуємо двійкову інформаційну послідовність, яка є наближенням інформаційної послідовності користувача.

Структура блоку процесора залежить від типу каналу, що використовується для CDMA передачі даних. Якщо канал моделюється як той, що має постійний коефіцієнт підсилення і адитивний білий гаусівський шум, то процесор містить ланцюг, що інтегрує сигнал за тимчасовим інтервалом передачі символу користувача, протягом якого розширюють послідовності різних користувачів взаємно ортогональні. Такий інтегратор та пристрій множення на пару ПСП утворюють корелятор. Якщо канал вносить багатопроменевість, то ситуація ускладнюється. Завдяки високій чіповій швидкості, що використовується в передавачі, псевдовипадковій послідовності, що використовується в передавачі, багатопроменеві компоненти сигналу приходять до приймача з такими великими взаємними затримками по відношенню до чипового періоду, що стає можливим виділення окремих сигналів за допомогою кореляції із синхронізованим псевдовипадковим сигналом, що генерується в приймачі.

Таким чином ми отримуємо сигнали, що надходять по різних шляхах поширення і несучі один і той же інформаційний символ, проте їх згасання, фазові зрушення та затримки будуть різними. Це може бути використано в системах з розширенням спектра, особливо, в CDMA-системах. Воно застосовується у приймачі з багатопроменевим рознесенням, прикладом реалізації якого є RAKE-приймач.

2.2. Структура передавача.

Структура передавача в системі зв'язку з множинним доступом із кодовим поділом каналів (CDMA) включає такі основні компоненти:

Перший елемент у структурі передавача CDMA, "джерело даних", відповідає за надання вихідних даних, що передаються системою зв'язку. Джерелом даних може бути аудіо, відео, текст або будь-яка інша форма інформації. У CDMA кожен користувач має унікальний код, званий кодом поширення, який використовується для розділення сигналів користувачів на різних частотах. Перед передачею дані мають бути закодовані за допомогою цих спеціальних кодів. Кодування даних у CDMA засноване на принципі поширення спектра сигналу. Кожен біт вихідних даних множиться на код розширення, який розподіляє спектр сигналу по всій доступній смузі частот. Це поширює енергію сигналу в широкому діапазоні частот, роблячи його більш стійким до перешкод і наведень. Під час кодування даних між вихідними даними та кодом розширення виконується операція XOR (що виключає або). У результаті змішування вихідних даних і коду розширення створюється модульований сигнал, унікальний для кожного користувача системи CDMA. Таким чином, на першому етапі побудови механізму передачі CDMA джерело даних надає вихідні дані для передачі та кодує їх за допомогою унікального коду розширення, пов'язаного з кожним користувачем системи. Цей крок є важливою частиною процесу модуляції та спектрального розширення, який забезпечує високу пропускну здатність і стійкість передачі даних у мережах CDMA.

Другий пункт побудови механізму передачі даних CDMA, "кодування даних", містить у собі детальніший етап кодування і модуляції даних з використанням кодів розширення. Вибір кодів розширення у CDMA кожен користувач має унікальний код поширення, який використовується для розділення сигналів користувачів. Коди поширення вибираються таким чином, щоб вони були ортогональні один одному, тобто мали нульову кореляцію. Це дає змогу системі CDMA ефективно розрізняти сигнали різних користувачів. Поділ сигналу: код розширення користувача

множить на бітову послідовність вихідних даних, що підлягають передачі. Це робиться шляхом виконання операції XOR (що виключає або) між кодом розширення і бітовим рядком даних. У результаті виходить модульований сигнал, що містить інформацію одного користувача і код розширення. Розширений спектр Кодований сигнал має розширений спектр у всій доступній смузі частот. Це досягається завдяки збільшенню тривалості кожного біта даних шляхом додавання переходів між бітами 1 і 0. Розширений спектр допомагає знизити ймовірність помилок під час передачі та підвищити стійкість до перешкод і наведень. Модуляція сигналу: кодування розширеного сигналу на несучу частоту дає змогу передавати його каналом зв'язку. Часто використовується схема модуляції називається BPSK (Binary Phase Shift Keying): у BPSK кожен біт даних модулює фазу несучої частоти, набуваючи значення 0 або 180 градусів. Таким чином, другий пункт структури механізму передачі CDMA відповідає за кодування даних за допомогою унікального коду розширення, який допомагає відрізнити сигнал користувача. Цей процес також включає в себе спектральне розширення і модуляцію сигналу для підготовки його до передачі каналом зв'язку; в CDMA поєднання кодування і модуляції призводить до високої пропускну здатності і надійності передачі даних.

Третій етап побудови механізму передачі CDMA, "модуляція", містить більш детальну процедуру модуляції сигналу після того, як були виконані кодування і розподіл спектра. Генерація несучої частоти: для модуляції сигналу CDMA необхідна несуча частота. Ця частота обирається залежно від вимог системи зв'язку і може бути фіксованою або змінною. Модуляція сигналу: доповнений і закодований сигнал, отриманий після попереднього етапу, модулюється на несучій частоті У CDMA використовується метод модуляції, званий розподілений спектром. Вона заснована на зміні фази або амплітуди несучої частоти відповідно до модулюючого сигналу. Фазова модуляція (ФМ): у CDMA для модуляції сигналу може використовуватися фазова модуляція. Це призводить до зміни фази несучої частоти залежно від значення послідовності бітів даних. Наприклад, для коду "0" фаза може залишатися незмінною, а для коду "1" фаза може змінюватися на певне значення.

Амплітудна модуляція (АМ): деякі частини CDMA також використовують амплітудну модуляцію. Тут амплітуда несучої частоти змінюється залежно від значення бітів даних. Наприклад, код "0" може представляти одну амплітуду, а код "1" - іншу. Розкид спектра та розділення сигналів: важливою особливістю CDMA є розкид спектра сигналу для підвищення стійкості передавання та ефективного розділення сигналів користувачів. Це досягається шляхом застосування коду поширення та збільшення тривалості кожного біта даних. Тому третій пункт побудови механізму передачі CDMA відповідає за модуляцію сигналу, закодованого та розширеного на попередньому етапі. Модуляція може здійснюватися за допомогою фазової та амплітудної модуляції, а також за допомогою спектра поширення для забезпечення високої пропускну здатності.

Посилення сигналу, четвертий етап побудови механізму передачі CDMA, відповідає за посилення модульованого сигналу до необхідного рівня потужності передачі. Цей етап необхідний для компенсації втрат сигналу, які можуть виникнути під час передачі в каналі зв'язку. Підсилювач потужності: модульований сигнал проходить через підсилювач потужності, який збільшує амплітуду сигналу до необхідного рівня передачі. Підсилювачі потужності можуть бути реалізовані з використанням різних технологій, наприклад, транзисторів, що підсилюють потужність. Посилення і додаткова обробка сигналу: під час посилення сигналу можуть бути виконані додаткові операції з обробки сигналу, такі як фільтрація шумів і управління рівнем потужності сигналу. Це покращує якість сигналу і готує його до передачі через антену. Керування потужністю: у CDMA важливо підтримувати збалансований рівень сигналу для запобігання перешкод сигналам інших користувачів. З цієї причини в системах CDMA використовуються алгоритми управління потужністю, які регулюють рівень потужності сигналу, що передається, відповідно до поточних умов мережі. Захист від спотворень Під час посилення сигналів важливо враховувати спотворення, які можуть виникнути під час передачі. З цієї причини можуть використовуватися методи запобігання і компенсації спотворень, як-от зворотний зв'язок, попереднє посилення і використання лінійних

підсилювачів. Таким чином, четвертий етап побудови механізму передачі CDMA відповідає за посилення модульованого сигналу до необхідного рівня потужності передачі. Цей етап передбачає використання підсилювачів потужності, додаткову обробку сигналу, контроль потужності та захист від спотворень. Посилення сигналу дає змогу забезпечити надійну передачу сигналу каналом зв'язку і готує його до подальшої передачі через антену.

П'ятий елемент у структурі передавача CDMA, "передача через антену", відповідає за передачу посиленого і обробленого сигналу через антену в радіоканал і на приймач. Антена є важливим компонентом передавача CDMA. Вона відповідає за перетворення електричних сигналів на електромагнітні хвилі та їхнє поширення по радіоканалу. Антена має бути здатна випромінювати сигнал у потрібному напрямку і гарантувати ефективне поширення сигналу. Спрямованість і коефіцієнт посилення антени: антени CDMA є спрямованими. Це означає, що вони можуть бути спрямовані в певному напрямку, щоб сконцентрувати енергію сигналу в потрібній області. Спрямованість антени допомагає збільшити відношення сигнал/шум і відстань передачі. Цього можна досягти, використовуючи антени з коефіцієнтом посилення, які спрямовані на підвищення енергії сигналу в певному напрямку. Поляризація антени: поляризація антени визначає напрямок електричного поля випромінюваної хвилі; в CDMA використовуються різні типи поляризації, включно з горизонтальною, вертикальною і круговою поляризацією. Вибір конкретної поляризації визначається вимогами мережі зв'язку, характеристиками радіоканалу і навколишнього середовища. Передача сигналів у радіоканал: посилені та оброблені сигнали передаються в радіоканал через антену. Антена випромінює електромагнітні хвилі, які поширюються в просторі та досягають приймача. Сигнали CDMA від різних користувачів передаються разом, одночасно через одну й ту саму антену, використовуючи різні коди розповсюдження для розділення їх у радіоканалі. Спрямованість антени та керування коефіцієнтом посилення У системах CDMA можуть використовуватися методи керування спрямованістю антени та коефіцієнтом посилення. Це дає змогу регулювати напрямок випромінювання

антени для забезпечення оптимального покриття та якості зв'язку в заданій зоні покриття. Адаптивне посилення також дає змогу автоматично регулювати посилення антени залежно від умов мережі та навколишнього середовища. Таким чином, п'ятий пункт структури механізму передачі CDMA відповідає за передачу посиленого й обробленого сигналу в радіоканал через антену. Для цього необхідно вибрати відповідну антену, налаштувати її спрямованість і коефіцієнт посилення і передати сигнал у радіоканал. Регулюючи спрямованість і коефіцієнт посилення антени, можна оптимізувати дальність і якість передачі в мережі CDMA. Структура механізму передавання CDMA дає змогу одночасно передавати дані від кількох користувачів, використовуючи різні коди розширення та частоти, що збільшує пропускну спроможність і частотну ефективність мереж CDMA.

2.3. Структура приймача

Структура приймача CDMA (Code Division Multiple Access) включає ряд компонентів, які допомагають виявляти та декодувати сигнали CDMA. Основні компоненти структури приймача CDMA включають наступне:

Антенa є одним із ключових компонентів структури приймача CDMA. Антени призначені для прийому радіосигналів, що передаються від передавачів CDMA. Основна роль антени полягає в перетворенні радіосигналу на електричний сигнал, щоб він міг бути переданий для подальшої обробки. Антени використовуються для збору радіосигналів з навколишнього середовища; у випадку CDMA приймальна антена призначена для прийому сигналів від передавача CDMA. Антени можуть мати різні форми і конструкції, залежно від конкретних вимог і застосувань. Основний принцип роботи антени полягає в перетворенні електромагнітних хвиль у коливання електричного струму. Коли радіохвилі взаємодіють з антеною, генеруються коливання струму. Цей струм подається на CDMA-приймач для подальшої обробки. Антени можуть мати різні характеристики, такі як

спрямованість, чутливість, діаграма спрямованості випромінювання, смуга пропускання і робоча частота. Спрямованість антени показує, наскільки точно вона може бути спрямована для приймання сигналів з певного напрямку. Чутливість антени визначає її здатність приймати слабкі сигнали. Діаграма спрямованості випромінювання антени являє собою характеристики випромінювання сигналу в просторі. Загалом антена в структурі приймача CDMA виконує функцію приймання радіосигналу, перетворення його на електричний сигнал і подальшого оброблення в приймачі.

Попередній підсилювач (LNA) є важливим компонентом структури приймача CDMA. Його основна функція полягає в посиленні слабого сигналу, що приймається антеною, перед передачею його для подальшої обробки. Коли антена приймає радіосигнал, сигнал зазвичай дуже слабкий. У цьому випадку перед подальшою обробкою сигнал необхідно посилити, щоб зробити його досить сильним для подальшого аналізу і декодування, тому в приймачах CDMA використовується попередній підсилювач (LNA). Попередній підсилювач (LNA) у приймачі CDMA має дуже високу чутливість і низький рівень шуму. Вони призначені для посилення слабких сигналів з мінімально можливим залишковим шумом, який може вплинути на якість приймання; LNA забезпечує посилення сигналу на початкових етапах, щоб компенсувати втрати сигналу, спричинені передачею сигналу від антени до приймача. Основні вимоги до попереднього підсилювача (LNA) такі: висока чутливість - МШП повинен бути здатний виявляти і посилювати слабкі вхідні сигнали, що надходять від антени. Низький рівень шуму: МШП повинен мати низький рівень внутрішнього шуму, щоб не додавати шум до вхідного сигналу. Широка смуга пропускання: він повинен бути здатний передавати сигнали в широкому діапазоні частот, використовуваному в CDMA. Низький рівень спотворень: спотворення сигналу під час посилення мають бути зведені до мінімуму. Загалом, попередній підсилювач (LNA) у механізмі приймача CDMA виконує функцію посилення слабого вхідного сигналу, що надходить від антени, перед його подальшим опрацюванням приймачем.

Змішувач є важливим компонентом структури приймача CDMA. Його основна функція полягає у змішуванні посиленого вхідного сигналу з локальним генератором (LO) для отримання сигналу проміжної частоти (IF - Intermediate Frequency). Змішувач виконує операцію множення між вхідним сигналом від попереднього підсилювача і сигналом від місцевого генератора. У результаті утворюються два нові частотні компоненти - сумарна та різницева частоти. Сумарна частота - це сума частот вхідного сигналу та осцилятора, а різницева частота - це різниця між ними. У приймачах CDMA використовується змішувач для змішування вхідного сигналу з широким діапазоном частот і локального генератора з відомою постійною частотою. Це дає змогу "затримати" потрібну інформацію в проміжній смузі частот для полегшення подальшої обробки сигналу. Сигнали проміжної частоти (ПЧ) вважаються зручними для подальшої обробки, оскільки вони мають вузький діапазон частот і вже близькі до частоти робочого діапазону приймача. За допомогою змішувача вхідний сигнал, що містить потрібну інформацію, перетворюється на сигнал проміжної частоти, який можна піддати подальшій обробці, наприклад, фільтрації або демодуляції. Основними вимогами до змішувача є - низький рівень спотворень: змішувач має мінімізувати спотворення сигналу під час множення. Висока точність: два сигнали мають бути точно перемножені для отримання сигналу проміжної частоти. Низький рівень шуму: шум, що додається до вихідного сигналу, має бути зведений до мінімуму. Загалом змішувач у структурі приймача CDMA виконує функцію множення вхідного сигналу на локальний генератор для створення сигналу проміжної частоти (ПЧ). Це дає змогу перетворити широкосмуговий вхідний сигнал на сигнал проміжної частоти, зручний для подальшої обробки.

Фільтр є важливим компонентом структури приймача CDMA. Його основна функція полягає у фільтрації сигналу проміжної частоти, що приймається (IF - Intermediate Frequency), після змішувача для вилучення необхідної інформації та підтримання сумісності з робочим діапазоном приймача. Фільтр у приймачі CDMA призначений для видалення небажаних сигналів і шумів, які можуть бути

присутніми в сигналі проміжної частоти. Це досягається шляхом відсікання або придушення сигналів за межами бажаного діапазону частот. Фільтри, що використовуються в приймачах CDMA, можуть мати різні конфігурації, включно з фільтрами низьких частот (LPF), фільтрами високих частот (HPF), смуговими фільтрами (BPF) і фільтрами лінії затримки (DLF). Вибір конкретного типу фільтра залежить від конкретних потреб застосунку та вимог до інформації, що передається. Фільтри приймача CDMA можуть мати різні характеристики, такі як смуга пропускання, рівень загасання, фазова решітка і розмір фільтра. Смуга пропускання фільтра визначає діапазон допустимих частот, які можуть пройти через фільтр. Рівень загасання вказує на здатність фільтра пригнічувати сигнали за межами смуги пропускання. Вирівнювання фази забезпечує однакову затримку сигналів на різних частотах. Розмір фільтра визначає його фізичні розміри та складність виготовлення. Загалом, фільтри в конструкції механізму приймача CDMA виконують функцію фільтрації сигналів проміжної частоти для вилучення потрібної інформації та придушення небажаних сигналів і шумів. Вони допомагають підтримувати сумісність із робочим діапазоном приймача та забезпечують оптимальну якість сигналу для подальшого оброблення й демодуляції.

Демодулятор є важливим компонентом структури приймача CDMA. Його основна функція - відновлення бітової послідовності з прийнятого сигналу проміжної частоти (IF - Intermediate Frequency) після фільтрації та вилучення корисної інформації. Демодулятор у приймачі CDMA декодує і розкодує сигнал, який модулюють і передають за допомогою відповідної схеми модуляції, як-от DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) або OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), і вихідні дані можна витягти. Для виконання демодуляції приймачі CDMA використовують спеціальні алгоритми для декодування і вилучення інформації з сигналу проміжної частоти. Ці алгоритми зазвичай засновані на використанні кореляції для визначення наявності та значення бітів у переданій послідовності.

Декодери, також звані демультимплексорами, є важливим компонентом структури приймача CDMA. Його основна функція полягає в поділі та мультимплексуванні різних каналів або потоків інформації, об'єднаних в один сигнал під час передачі. Декодер у приймачі CDMA відіграє важливу роль у розподілі сигналу за відповідними каналами або користувачами: коли сигнал надходить на приймач, що використовує CDMA, він містить інформацію, що передається для різних користувачів, об'єднаних у багатокористувацьку систему. Декодери можуть розділяти і мультимплексувати сигнали для конкретних користувачів.

Демультимплексори, також звані мультимплексорами, є важливим компонентом структури приймача CDMA. Його основна функція полягає в об'єднанні різних каналів або потоків інформації в єдиний сигнал перед подальшою передачею або обробкою. Демультимплексор у приймачі CDMA відіграє важливу роль в об'єднанні сигналів від різних користувачів або каналів в один загальний сигнал; це необхідно, оскільки CDMA дозволяє багатьом користувачам одночасно передавати дані в одній системі.

Декодер даних є важливим компонентом структури приймача CDMA. Його основна функція полягає в декодуванні отриманих даних, переданих у спеціальному закодованому форматі. Декодер даних у приймачі CDMA декодує отримані дані, які було спотворено під час передавання або модуляції. Це включає в себе витяг вихідних даних із закодованої послідовності.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Множинний доступ із кодовим поділом (CDMA) - це ефективний метод передавання даних у бездротових системах зв'язку. Цей метод дає змогу багатьом користувачам одночасно використовувати один і той самий радіоканал, використовуючи різні кодові послідовності. У системі CDMA кожен користувач має унікальний код, який використовується для модуляції переданого сигналу. Ці кодові послідовності мають властивість ортогональності, що дає змогу приймачу розрізняти сигнали різних користувачів, які передаються одночасно. Така ортогональність забезпечує високий ступінь захисту від колізій і дає змогу кільком

користувачам передавати дані одночасно без істотного погіршення якості сигналу.

Структура передавача CDMA охоплює модуляцію сигналу з використанням кодової послідовності, узгодження потужності сигналу і поділ каналу між користувачами. Кожен користувач модулює сигнал, використовуючи свій власний код, підсумовуючи всі сигнали перед передачею їх загальним каналом. Цей процес дає змогу багатьом користувачам передавати дані одночасно й ефективно використовувати доступну смугу пропускання каналу.

Побудова приймального механізму системи CDMA включає демодуляцію всіх сигналів і розділення сигналів користувачів з використанням відповідних кодів. Приймач використовує коректори помилок і методи фільтрації для відновлення переданих даних. Оскільки кожен користувач використовує унікальний код, приймач здатний відрізнити його сигнали від сигналів інших користувачів і успішно відновити дані.

Загалом, множинний доступ на основі CDMA - це потужний метод передавання даних, що забезпечує високий ступінь захисту від колізій та ефективно використання ресурсів радіоканалу. Ця технологія широко використовується в бездротових мережах, як-от мобільна телефонія та бездротовий інтернет, одночасно гарантуючи надійне передавання даних і якість обслуговування для великої кількості користувачів.

РОЗДІЛ 3

ПАКЕТНИЙ РАДІОІНТЕРФЕЙС

3.1. Розподіл частотного ресурсу

Розподіл частотного ресурсу відбувається в багатьох сферах, включаючи телекомунікації, радіомовлення, бездротові мережі та супутниковий зв'язок. Основна мета розподілу частот - забезпечити ефективне використання наявних смуг радіочастот і запобігти виникненню перешкод між різними користувачами. У багатьох країнах розподіл частот регулюється національними регуляторними органами, такими як Федеральна комісія з питань зв'язку (FCC) у США та Ofcom у Великобританії. Ці органи встановлюють правила і норми використання радіочастотного ресурсу, в тому числі розподіл частот між різними службами і користувачами. Частотні ресурси можуть розподілятися через систему ліцензування, коли власникові ліцензії надається право використовувати певну смугу частот для певної послуги. Також можуть існувати загальнодоступні частоти, які можна використовувати без ліцензії для загального користування, наприклад, радіомережі Wi-Fi. Розподіл радіочастотного ресурсу також може бути організований у вигляді смуг частот, призначених для певних послуг або додатків. Наприклад, одна смуга частот може бути виділена для мобільного зв'язку, інша - для телевізійного мовлення, а третя - для радіолокації. Розподіл частотного ресурсу також може бути географічно обмеженим. Наприклад, певні смуги частот можуть бути призначені для використання в певних місцях або регіонах, щоб уникнути взаємних перешкод.

Загальний принцип розподілу радіочастотного ресурсу полягає в тому, щоб забезпечити ефективне використання ресурсів та уникнути конфліктів і перешкод між різними користувачами. Регуляторний орган у співпраці з операторами телекомунікацій, телекомунікаційними компаніями та іншими зацікавленими сторонами встановлює правила та механізми розподілу радіочастотного ресурсу для забезпечення оптимального використання наявного спектру.

Якщо стільникова архітектура WCDMA/UMTS створювалася як надбудова над базовою мережею стандарту GSM, система cdma2000 (її базова версія відома як IS-2000) розроблялася у контексті еволюції стандарту TIA IS-95. Вимога зворотної сумісності з мережами IS-95 зумовило вибір мінімальної чіпової швидкості в системі cdma2000 - 1.2288 Мчп/с (смуга частот, що займається 1.25 МГц). Таким чином, умова сумісності з cdmaOne призвела до ключової відмінності системи cdma2000 від WCDMA: чіпова швидкість в базовому багаточастотному (3X) варіанті дорівнює 3.6884 Мчп/с замість 3.84 Мчп/с.

Інша фундаментальна відмінність полягає у підході до синхронізації мережі. Якщо асинхронний принцип побудови мережі UMTS призводить до її незалежності від зовнішнього джерела синхронізації, то в cdma2000 початкова синхронізація МС здійснюється за загальним пілот-сигналом, що випромінюється кожною БС. Приймаючи пілот-сигнал МС визначає параметри, які необхідні для подальшого здійснення когерентної демодуляції сигналу, забезпечення хендовера і т.п. Порівняно з IS-95 (cdmaOne), фізичний рівень cdma2000 містить суттєві вдосконалення. 1. Поряд із послугами з комутацією каналів cdma2000 підтримує послуги з комутацією пакетів, навіть використовуються виділені чи загальні фізичні канали трафіку, і навіть канали управління. 2. Методи управління системними ресурсами в CDMA2000 забезпечили широкий діапазон швидкості передачі інформації - від 1.2 кбіт/с до 2.457 Мбіт/с. Для передачі на типових для cdmaOne швидкостях (9.6/14.4 кбіт/с і менше) використовується виділений основний канал (fundamental channel). Для роботи з найбільш високими швидкостями на дію введені додаткові (supplemental) канали з урахуванням ортогональних кодів. Довжина каналних кодів основних каналів постійна, у той час як у додаткових каналах вона залежить від необхідної швидкості передачі. При цьому у високошвидкісних режимах передачі даних замість коригувальних згорткових кодів передбачено використання турбо кодів. 3. Натомість некогерентної лінії зв'язку від мобільної станції до базової станції використовується когерентна. З цією метою введено зворотний пілот-канал, який дозволяє БС відстежувати частоту і фазу

несучої кожної з абонентських станцій, що обслуговуються. 4. На відміну від cdmaOne, у cdma2000 передбачено застосування антени ґрати з адаптивним формуванням променя (смарт-антени), що здійснює просторову селекцію окремих абонентських станцій або їх груп. Оскільки умови поширення в променях антени, спрямованих на різні абонентські станції, різні, їх точне налаштування по загальному пілоту - сигналу неможлива. З цієї причини на додаток до загального зворотного пілот-каналу у стандарті cdma2000 введені допоміжні виділені канали (по одному на абонентську станцію), які використовуються для налаштування антеної решітки.

Подальше розширення смуги з метою надання широкосмугових мультимедійних послуг здійснюється шляхом кратного (у цілу кількість разів) збільшення чипової швидкості.

При $N=1$ та QPSK-модуляції спектральна маска та інші характеристики сигналу cdma2000 аналогічні відповідним характеристикам cdmaOne, що обумовлює повну наступність цих систем. При $N>1$ передбачилися два варіанти організації радіоінтерфейсу: багаточастотної несучої (multi-carrier) - MC-CDMA і з прямим розширенням спектра - DS-CDMA. У варіанті MC-CDMA, $N=3$, передбачалася реалізація передачі на трьох піднесучих. На кожній із них ширина субсмуги становить 1.25 МГц, а чипова швидкість – 1.2288 Мчп/с. Таким чином, за умови сумісності з вже розгорнутою мережею, оператор отримувал можливість гнучко використовувати спектр (рис. 3.1).

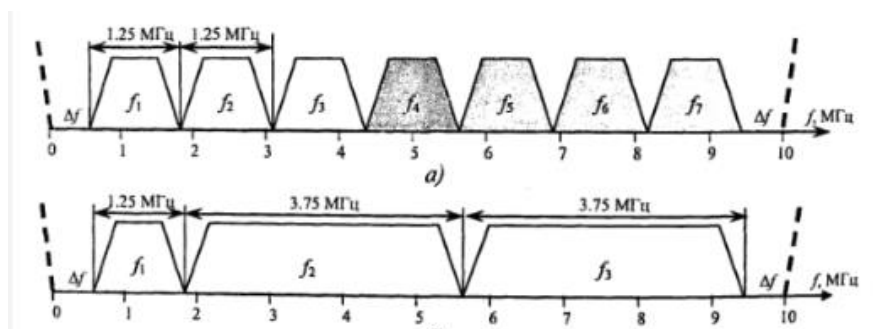


Рис. 3.1. Використання полоси частот загальною шириною 10 МГц

- а) комбінація MC CDMA та DS-CDMA ($N=3+1+N=3$);
 б) DS-CDMA ($1x + 3x + 3x$), де x відповідає 1.2288 Мчп/с;

Оператор, що має свою мережу CDMA, здатний нарощувати її каналну ємність та розширювати перелік послуг за рахунок модернізації обладнання радіоінтерфейсу та окремих елементів інфраструктури базової мережі. При цьому абонентські термінали IS-95 можуть продовжувати роботу знову створеної мережі. Такий «еволюційний» перехід від 2G cdmaOne к 3G cdma2000 дозволяє оператору вибирати прийнятну йому стратегію розвитку. При прямому розширенні спектра сигнал передається на одній несучій чіповою швидкістю, кратною 1.2288 Мчп/с. При $N=3$ прийнята в IS-95 частота прямування чіпів потроюється і становить $3 \times 1.2288 = 3.6864$ Мчп/с. Для забезпечення сумісності із системами, що функціонують у суміжних смугах, на межі смуги, що займається, передбачається введення захисного інтервалу Δf шириною 625 кГц. Значення основних параметрів, що характеризують радіоінтерфейс систем стандарту cdma2000, наведені у табл. 3.1. Основні характеристики системи стандарту cdma2000

Таблиця 3.1

Основні параметри радіоінтерфейсу систем стандарту cdma2000

Найменування, характеристика	Значення параметрів
Ширина займаної смуги частот	$N \times 1.25$ МГц, де $N = 1, 6, 9, 12$
Чіпова швидкість	$N \times 1.2288$ Мчп/с, де $N = 1, 6, 9, 12$
Метод багатостанційного доступу	MC-CDMA, DS-CDMA
Метод дуплексу каналів	FDD або TDD
Рознесення між несучими у режимі	45 МГц (стільникові); 80 МГц (PCS)

3.2. Передача даних з часовим мультиплексуванням

Мультиплексування з тимчасовим поділом (TDM) - це метод мультиплексування в телекомунікаціях, за якого кожному цифровому потоку виділяється тайм-слот - період часу для передачі даних. Оригінальна форма TDM використовується для телекомунікаційних схем, у яких використовується фіксована кількість каналів і фіксована смуга пропускання для кожного каналу. Мультиплексування з тимчасовим поділом істотно відрізняється від статистичного мультиплексування, такого як мультиплексування пакетів, тим, що, на відміну від пакетного оброблення (відповідно до надходження пакетів), тимчасові слоти в ньому циклічно повторюються згідно із заздалегідь визначеним порядком. Статистичне мультиплексування схоже на мультиплексування з поділом часу, але його не слід плутати з ним.

У динамічному TDMA алгоритм планування динамічно резервує змінну кількість таймслотів і організовує динамічну зміну пропускну здатності залежно від вимог трафіку кожного потоку даних. Динамічний TDMA використовується в таких додатках, як:

- IEEE 802.11;
- IEEE 802.16a.

У мережах із комутованими каналами зв'язку, як-от міські телефонні мережі загального користування, велика кількість викликів від різних абонентів має передаватися одночасно одним середовищем передачі. Для вирішення цієї проблеми можна використовувати TDM. Стандартні мовні сигнали (DS0) використовують швидкість 64 кбіт/с; TDM мультиплексує кадри мовного сигналу в кадри TDM, які передаються з більшою пропускну здатністю. Таким чином, якщо кадр TDM містить n мовних кадрів, смуга пропускання дорівнюватиме $n * 64$ кбіт/с. Кожен мовний таймслот у кадрі TDM називається каналом. У європейських системах кадр TDM складається з 30 цифрових мовних каналів, а в американському стандарті - з 22

каналів (див. E1 і T1). Обидва ці стандарти включають часові інтервали для сигналізації і біти синхронізації. Мультиплексування цифрових мовних каналів понад 30 і 22 канали називається мультиплексуванням вищого порядку і може бути досягнуте шляхом мультиплексування стандартних кадрів TDM. Наприклад, європейський 120-канальний кадр TDM формується шляхом мультиплексування чотирьох 30-канальних кадрів TDM. Кожен мультиплекс вищого порядку об'єднує чотири кадри нижчого порядку, створених шляхом мультиплексування $n \times 64$ кбіт/с, $n = 120, 480, 1920$ тощо. На рис.3.2 наведено метод об'єднання рівнів IQ прямих каналів, який має назву

TDM, Time Division Multiplexing – сумісна передача даних з розділенням у часі.



Рис. 3.2. Мультиплексування прямих каналів

Преамбула – це послідовність Уолша 32-го порядку, яка розміщена на початку пакета і забезпечує слотову синхронізацію мобільної станції.

Мультиплексування з тимчасовим поділом (TDM) - це метод передавання даних, за якого кілька незалежних сигналів об'єднуються в один канал із використанням часових інтервалів. Кожен сигнал отримує окремий часовий слот для передавання інформації. Передавання даних із використанням мультиплексування з

часовим поділом може здійснюватися різними способами.

STM (Static Time Division Multiplexing) - це метод передавання даних, за якого кожному сигналу виділяється фіксований часовий інтервал, незалежно від того, чи передає він інформацію. Кожен сигнал отримує свій власний часовий слот, у якому він може передавати інформацію. Якщо сигнал не має інформації для передачі, його місце залишається порожнім. Процес статичного мультиплексування з тимчасовим поділом встановлює фіксований розклад для кожного сигналу. Це означає, що незалежно від того, чи передаються дані в певному слоті, цей слот буде виділено певному сигналу. Тому розмір і часовий інтервал кожного слота буде постійним. Прикладом статичного мультиплексування з тимчасовим поділом є цифрова абонентська лінія (DSL), що використовує TDM для передавання голосової інформації; у DSL кожному голосовому каналу виділяється фіксований часовий слот, наприклад, 64 кбіт/с, і згідно із заздалегідь визначеним розкладом уся доступна пропускна спроможність каналу розподіляється між каналами. Це дає змогу одночасно передавати кілька голосових каналів одним фізичним каналом зв'язку. Однак слід зазначити, що статичне мультиплексування з часовим поділом є неефективним використанням ресурсів каналу зв'язку, оскільки для кожного сигналу використовується певна кількість часу, незалежно від того, передаються дані чи ні. Якщо сигнальна активність відсутня, то часовий інтервал залишається невикористаним, що призводить до втрати пропускної здатності каналу. З цієї причини для більш ефективного використання ресурсів найчастіше застосовується динамічне мультиплексування з тимчасовим поділом.

Динамічне мультиплексування з тимчасовим поділом (DTM) - це метод передавання даних, за якого кожному сигналу виділяється таймслот тільки тоді, коли він передає дані. Це відрізняється від статичного мультиплексування з тимчасовим поділом, за якого кожному сигналу виділяється фіксований таймслот незалежно від активності передавання даних. За динамічного мультиплексування з тимчасовим поділом канал зв'язку ділиться відповідно до потреб різних сигналів. Якщо сигнал має дані для передачі, доступ до каналу надається на певний тайм-

слот. Якщо сигнал не має інформації для передачі, цей часовий інтервал може бути використаний іншим сигналом, який має дані для передачі. Процес динамічного мультиплексування з часовим поділом вимагає використання механізму сигналізації для виявлення активних сигналів і розподілу доступу до каналу. Цей механізм може використовувати різні протоколи та алгоритми, як-от CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) і TDMA (Time Division Multiple Access) для управління доступом. Для управління доступом можуть використовуватися різні протоколи та алгоритми. Прикладом динамічного мультиплексування з часовим поділом є Ethernet, який використовує CSMA/CD для управління доступом до каналу. Кожен вузол у мережі Ethernet отримує можливість передавати дані, якщо канал вільний. Якщо вузли намагаються передати дані одночасно і відбувається зіткнення, механізм CSMA/CD виявляє зіткнення і надсилає повідомлення про повторну передачу. Перевага динамічного мультиплексування з часовим поділом полягає в ефективному використанні ресурсів каналу зв'язку. Канал даних використовується тільки тоді, коли сигнал передає активні дані, що дає змогу оптимізувати використання смуги пропускання. Однак для виявлення активних сигналів і запобігання стримування потрібні складніші механізми управління доступом до каналу.

Принцип мультиплексування з розподілом часу полягає в поділі передавання даних на менші часові інтервали, які виділяються кожному сигналу в послідовності. Приймач відновлює вихідні дані, аналізуючи отриманий потік даних у заздалегідь визначеному порядку. Мультиплексування з розподілом часу використовується в різних технологіях передавання даних, включно з мережевими комунікаціями, такими як цифрова телефонія, Ethernet і цифрове телебачення. Цей метод дає змогу ефективно використовувати ресурси каналу зв'язку й одночасно передавати кілька сигналів.

3.3. Методи збільшення швидкості передачі даних

Існують різні способи збільшити швидкість передачі даних у комп'ютерних мережах. Використання швидшого з'єднання: Один з найпростіших способів збільшити швидкість передачі даних - перейти на більш швидке з'єднання, наприклад, високошвидкісний інтернет або мережу з більшою пропускну здатністю. Використовуйте комутацію пакетів: комутація пакетів дозволяє розбивати дані на окремі пакети та надсилати їх мережею, що дозволяє краще використовувати пропускну здатність мережі та збільшує швидкість передачі даних. Кешування: кешування може збільшити швидкість передачі даних, зберігаючи копії популярних або часто використовуваних даних на мережевих пристроях для швидшого доступу до них. Використовуйте стиснення даних: стиснення даних може зменшити обсяг переданих даних і збільшити швидкість передачі. Стиснення можна застосовувати до різних типів даних, таких як текст, зображення та відео. Використовуйте канали з більшою пропускну здатністю: Швидкість передачі даних можна збільшити, використовуючи канали з більшою пропускну здатністю, такі як Gigabit Ethernet, або розділяючи канали за типами даних. Використовуйте технології прискорення: нові технології, такі як оптоволокно, Wi-Fi 6 і 5G, можуть значно збільшити швидкість передачі даних. Оптимізуйте мережеве обладнання: оптимізація конфігурації мережевого обладнання, такого як маршрутизатори, комутатори та брандмауери, може збільшити швидкість передачі даних. Використовуйте кешування на рівні програми: деякі програми можуть використовувати кешування на рівні програми для зберігання раніше завантажених даних, щоб при наступних запитах доступ до них був швидшим. Ефективність цих методів може залежати від конкретного сценарію та мережевої інфраструктури. Найкращий метод підвищення швидкості передачі даних буде відрізнятися в кожному конкретному випадку, тому важливо проаналізувати і використовувати метод, який найкраще відповідає вашим конкретним потребам і мережевим обмеженням.

Версія системного стандарту на певну дату має назву Revision, скорочено Rev.

Побудова, характеристики і функціонування системи Cdma2000 (1xEV-DV) описано у стандартах Rev.(0, A, B,..., F), підсистеми HRPD (1xEV-DO) – у стандартах Rev.(0, A, B). Порівняємо параметри передачі трафіку у радіоінтерфейсі системи 1xEV-DV:

Таблиця 3.2

Порівняння версій системного стандарту

Параметр		Rev.0	Rev.F
Швидкість передачі мови, кбіт/с		1,2...14,4	1,2...14,4
Максимальна швидкість передачі даних, кбіт/с	Прямий канал	1036,8	3091,2
	Зворотний канал	1036,8	1845,6
Кількість СКМ при передачі трафіку	Прямий канал	9	12
	Зворотний канал	6	8
Кількість логічних каналів	Прямий канал	15	24
	Зворотний канал	8	15

Порівняємо параметри передачі трафіку у радіоінтерфейсі підсистеми 1xEV-DO. Швидкість турбокодера $(k/n)=(1/3, 1/5)$, кількість слотів для передачі пакета $N_{сл}=(1, 2, 4, 8, 16)$.

Таблиця 3.3

Прямий канал

Rev.	Довжина пакета, біт	Модуляція	К-сть R_6	R_6 , кбіт/с
0	1024...4096 (4 значення)	<i>QPSK, 8PSK, 16QAM</i>	12	38,4...2457,6
A	128...5120 (8 значень)	(аналогічно)	36	4,8...3072,0
B	128...8192 (11 значень)	додатково <i>64QAM</i>	50	4,8...4915,2

Зворотний канал

<i>Rev.</i>	Довжина пакета, біт	<i>k/n</i>	Модуляція	$N_{сл}$	К-сть R_6	R_6 , кбіт/с
0	256...4096 (5 знач.)	1/2, 1/4	<i>BPSK</i>	16	5	9,6...153,6
A, B	128...12288 (12 знач.)	1/2, 1/4	<i>BPSK</i>	4, 8	48	4,8...1843,2
		1/5, 3/8	<i>QPSK</i>	12		
		2/3	<i>8PSK</i>	16		

У прямому і зворотному каналах збільшення максимальної швидкості передачі даних підвищує якість передачі мови в пакетних застосунках користувача, забезпечує онлайн-перегляд відео з високою роздільною здатністю, а також зменшує час завантаження файлів.

Зменшення мінімальної швидкості передачі пакетних даних обумовлено тим, що в паузах трафіку мобільна станція приймає і обробляє службові канали, це пілотний канал і канал MAC. Знижена швидкість передачі цих каналів зменшує розряд акумулятора мобільної станції. Подальший розвиток технології передачі даних з кодовим розділенням каналів здійснено у системі наступного покоління UMB (Ultra Mobile Broadband), характеристики якої аналогічні системі LTE. Агрегація в 1xEv-DO

Пакети даних, які адресовані одній мобільній станції, розділяють на N паралельних потоків. Цими потоками модулюють радіосигнали N передавачів, у кожному з них чіповий сигнал має швидкість 1,2288 Мчп/с.

Приклад Кількість потоків $N=3$.

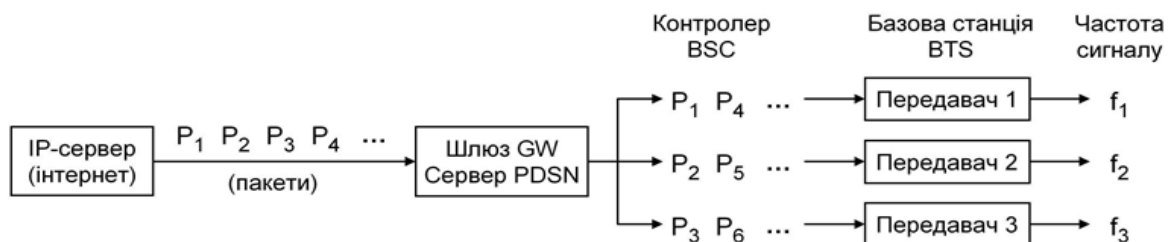


Рис. 3.3. Система мобільного зв'язку

Сму́га частот радіоканалу (Bandwidth) дорівнює $V=(3,75+2*0,625)$ МГц=5 МГц. Максимальна швидкість передачі даних дорівнює $R_{б,max}=(3*4915,2)$ кбіт/с $\approx 14,7$ Мбіт/с. Цей спосіб підвищення швидкості передачі даних має назву 3xRev.A,B. Порівняємо:

- для роботи в режимі 3xМС потрібна програмна модернізація відповідного мережного обладнання і апаратна модернізація базової станції, а саме установлення нового трьохчастотного передавача;

- в режимі 3xRev.A,B працюють три штатні одночастотні передавачі.

Спільне використання цих трьох передавачів має назву агрегація (aggregation). Для її реалізації потрібна тільки програмна модернізація мережі доступу і мобільної станції на основі протоколу ML-RLP, Multi Link - Radio Link Protocol. На практиці, планувальник пакетів у контролері розподіляє частотний ресурс між мобільними станціями, які підтримують протокол ML-RLP, та мобільними станціями попередніх версій. Внаслідок цього фактична максимальна швидкість передачі даних може зменшуватися порівняно зі швидкістю 14,7 Мбіт/с (за інформацією оператора "Інтертелеком"). Теоретичний максимум швидкості у режимі 3xRev.A,B відповідає значенню $N=15$: $R_{б,max}=(15*4915,2)$ кбіт/с $\approx 73,7$ Мбіт/с.

Сму́га частот радіоканалу дорівнює $V=15*1,25+2*0,625=20$ МГц.

Система UMB забезпечує максимальну швидкість передачі даних:

- у прямому каналі 288 Мбіт/с;
- у зворотному каналі 75 Мбіт/с.

Сму́га частот радіоканалу дорівнює $V=(1,25; 2,5; 5; 10$ або $20)$ МГц.

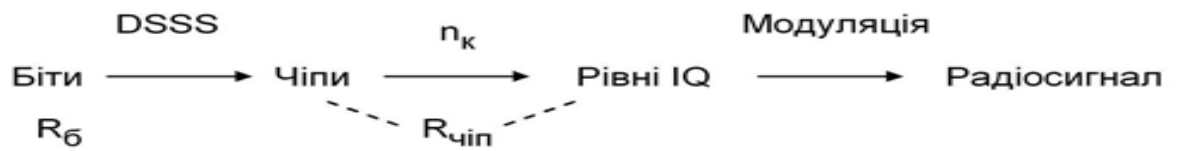


Рис. 3.4. Спектр радіосигналу

Число n_k – це кількість чіпів, що передають одночасно як один символ. Швидкість передачі бітів R_b є змінним параметром, який залежить від типу інформації (мова або дані), вимог QoS застосунку користувача, здатності системи виконати ці вимоги, інтенсивності трафіку в умовах обслуговування певної кількості абонентів, та ін. Для з'ясування впливу перетворення DSSS на спектральні характеристики радіосигналу розглянемо приклад його амплітудної модуляції безпосередньо чіповим сигналом.

Висновки з аналізу часових діаграм і спектра модульованого радіосигналу:

1) частотний інтервал між сусідніми спектральними гармоніками та кількість гармонік

у смузі $1/T_{\text{чип}}$ залежать від інтервалу часу T ;

2) смуга частот, в якій зосереджено приблизно 90% потужності радіосигналу (або "ефективна ширина спектра"), має центральну частоту f_0 і дорівнює $2/T_{\text{чип}}$;

3) ефективна ширина спектра радіосигналу залежить від швидкості передачі чіпів $R_{\text{чип}}=1/T_{\text{чип}}$ і не залежить від швидкості передачі бітів R_b .

При фазовій модуляції будь-якого виду радіосигнал є послідовністю відрізків гармонічного сигналу, які мають однакову частоту і певні амплітуду та фазу (приклад діаграм сигналів у модуляторі QPSK розглянуто раніше. Спектри відповідних модульованих радіосигналів мають іншу форму порівняно із спектром для амплітудної модуляції, проте 3-й висновок з вищенаведених також цілком

придатний у даному випадку. У стільникових системах з кодовим розділенням каналів, швидкість передачі чіпів – це системна константа $R_{\text{чп}} = SF \cdot R_b$.

Таблиця 3.5

Швидкість передачі чіпів у стільникових системах

Система	$R_{\text{чп}}$, мчіп/с
<i>CdmaOne</i>	1,2288
<i>HRPD</i> (1xEv-DO)	1,2288
<i>Cdma2000</i> (1xEv-DV)	1,2288; 3,6864
<i>UMTS</i>	3,84

У радіоінтерфейсах цих систем передають сигнали, ширина спектра яких незмінна і не залежить від швидкості передачі інформаційних бітів. Смуга частот радіоканалу відповідає ширині спектра радіосигналу у кожний поточний момент часу, тому мобільний оператор використовує такий частотний канал з максимальною ефективністю.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Результати щодо пакетних радіоінтерфейсів показують їх важливість у сучасному бездротовому зв'язку. Використання пакетних радіоінтерфейсів дозволяє ефективно передавати дані через бездротові мережі, розбиваючи їх на пакети і передаючи окремо. Це підвищує надійність, масштабованість і швидкість передачі даних. Такий підхід ефективно використовує радіочастотний ресурс і забезпечує швидшу та надійнішу передачу даних у бездротових мережах.

Розподіл частотного ресурсу є важливим аспектом управління радіочастотним ресурсом. Результати розподілу частот показують, що обмежений спектр для бездротових систем зв'язку повинен використовуватися ефективно. Правильний розподіл частотного ресурсу дозволяє уникнути перешкод, максимізувати пропускну здатність мережі і підвищити якість обслуговування. Ефективне

управління розподілом спектральних ресурсів є важливим для задоволення зростаючого попиту на бездротовий зв'язок.

Мультиплексування з часовим поділом - це метод передачі даних, при якому різні сигнали обмінюються по одному і тому ж фізичному каналу в різний час. Результатом часового мультиплексування є ефективне використання обмежених ресурсів передачі даних. Мультиплексування з часовим поділом може використовуватися для збільшення пропускної здатності каналу, забезпечення більш високих швидкостей передачі даних і підвищення ефективності каналу. Цей метод широко використовується в різних системах зв'язку, включаючи мобільний і супутниковий зв'язок.

Підвищення швидкості передачі даних є постійним викликом у розвитку комунікаційних технологій. Результати досліджень щодо підвищення швидкості передачі даних показують важливість пошуку нових технологій та вдосконалення існуючих технологій для забезпечення високошвидкісної передачі даних. Ці методи включають використання ширших частотних діапазонів, поліпшення алгоритмів стиснення і модуляції, а також більш ефективні схеми управління радіоінтерфейсом. Постійні дослідження і розробка нових технологій дозволяють досягати вищих швидкостей передачі даних у бездротових системах зв'язку.

ВИСНОВОК

Стільникова система передачі пакетних даних є сучасним та ефективним рішенням для бездротового зв'язку. Вона забезпечує передачу даних у вигляді пакетів, що дозволяє ефективно використовувати ресурси мережі та забезпечує гнучкість у передачі різних типів інформації, таких як голос, відео, зображення та текстові дані. Одним з ключових принципів стільникового зв'язку є поділ покритої території на окремі клітини. Кожна клітина має свою базову станцію, яка відповідає за забезпечення зв'язку з абонентами, що знаходяться в межах цієї клітини. Цей поділ дозволяє оптимізувати використання ресурсів та забезпечує стійкість зв'язку в мережі навіть при великій кількості абонентів.

Для ефективної передачі пакетних даних використовується метод множинного доступу на основі CDMA (кодова розсіпання при множинному доступі). Цей метод передбачає використання унікальних кодових послідовностей для кожного абонента. Кодові послідовності використовуються для розділення сигналів різних абонентів та для забезпечення паралельної передачі даних. Це дозволяє забезпечити високу пропускну здатність та мінімізувати перешкоди в мережі.

Важливою складовою структури стільникової системи є передавач та приймач. Передавач відповідає за кодування, модуляцію та передачу пакетних даних, тоді як приймач виконує демодуляцію, декодування та розбір пакетів даних. Обидва пристрої взаємодіють через пакетний радіоінтерфейс, що забезпечує передачу даних між ними. Для ефективного використання спектрального ресурсу в стільниковій системі використовується розподіл частотного ресурсу. Це означає, що доступні частотні діапазони розділяються між різними клітинами, щоб забезпечити одночасну передачу даних без взаємного перешкоджання. Розподіл частотного ресурсу здійснюється з урахуванням потреб і можливостей кожної клітини та враховує загальну місткість мережі. Надалі, для збільшення швидкості передачі даних у стільникових системах застосовуються різні методи, такі як використання розширюючих кодових наслідків (наприклад, послідовності Уолша), а також

використання методів часового мультиплексування.

Вивчення стільникової системи передачі пакетних даних допомагає зрозуміти принципи її функціонування, оптимізацію ресурсів та методи покращення ефективності передачі даних. Ці знання мають велике значення для подальшого розвитку та вдосконалення бездротових комунікаційних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк “Системи зв’язку з кодовим розділенням каналів”.
2. Весоловский Кшиштоф “Системи рухомого радіозв’язку”.
3. И.А. Гепко, В.Ф. Олейник “Сучасні безпроводні мережі”.
4. Х. Кааранен, А. Ахтиайнен “Світ зв’язку”.
5. Сініцин Р. Б., Кольченко Л. В. “Розвиток мобільного стільникового зв’язку”.
6. Андрій Лунтовський, Ігор Мельник “Проектування та дослідження комп’ютерних мереж”.
7. Феррейра Фило Владстон, Пиктет Мо “Теоретичний мінімум за Computer Science”.
8. Олифер В. Г .Олифер Н. А. “Комп’ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи.”.
9. Рамський Юрій Савіанович “Адміністрування комп’ютерних мереж та систем”.