

ВСТУП

Спостерігаючи еволюцію розвитку технологій мереж радіодоступу, дивуєшся генієві людського розуму. Кожне наступне покоління мереж мобільного зв'язку приносить принципово нові технологічні можливості, значно розширювальний спектр послуг кінцевим користувачам. Знаючи минулий і поточний рівень розвитку цифрових мереж мобільного зв'язку й потреби абонентів цікаво заглянути в найближче майбутнє й зрозуміти, що нас очікує.

Опис різних технологій ширококутового безпроводового зв'язку знайшло відбиття в численних вітчизняних і закордонних роботах. Однак в існуючих публікаціях практично відсутній опис новітньої технології Long-Term Evolution (LTE), широке впровадження якої почалося в багатьох країнах світу.

Перш ніж переходити до розгляду принципів побудови й реалізації безпроводових мереж на базі технології LTE розглянемо місце цієї технології серед інших сучасних технологій безпроводового зв'язку.

У цей час триває бурхливий розвиток безпроводових цифрових комунікацій. Безпроводові ширококутові мережі практично перебувають поза конкуренцією по оперативності розгортання, мобільності, ціні й широті можливих застосунків, у багатьох випадках являючи собою єдине економічно виправдане рішення.

Рівень розвитку мікроелектроніки дозволив випускати масові дешеві засоби безпроводового зв'язку – радіомаршрутизатори й стільникові телефони. Бум стільникового зв'язку, порівнянний лише зі зростанням виробництва персональних комп'ютерів і розвитком Інтернету, не вповільнюється вже чверть століття. Мобільних телефонів в усьому світі вже значно більше, ніж звичайних провідних телефонних апаратів. Швидкими темпами розвиваються персональні й локальні мережі, широко впроваджуються безпроводові мережі регіонального масштабу. Низька вартість, швидкість розгортання, широкі функціональні можливості по передачі даних, телефонії, відеопотоків робить безпроводові мережі одним з основних напрямків розвитку телекомунікаційної індустрії.

Бурхливий розвиток безпроводового зв'язку супроводжується безперервною зміною технологій, в основі яких лежать стандарти GSM, CDMA і IEEE 802. До них належать технології Wi-Fi і WiMAX, еволюційні ланцюги розвитку яких мають такий вигляд:

1. IEEE 802.-802.11a,b,g,n (Wi-Fi) - 802.11s (MESH);

2. IEEE 802.-802.16a-802.16d («фіксований» WiMAX)-802.16e («мобільний» WiMAX), і технології стільникового зв'язку 3G-UMTS і CDMA-2000, еволюція розвитку яких може бути описана наступними послідовними подіями:

1. HSDPA-HSUPA-LTE

2. CDMA-CDMA Ix-EVDORevA-EVDORev.B-EVDORev.C.

Основні напрямки розвитку технології широкосмугового зв'язку наведені на рисунку 1. Коротко характеризуючи ці технології відзначимо, що мережі Wi-Fi завоювали визнання й широко застосовуються при побудові локальних і регіональних мереж і рішенні проблеми «останньої милі».

Технологія фіксованого WiMAX (IEEE 802.16d) поки не виправдала надій, що покладали на неї, по швидкодії, об'єму зони покриття й цінових характеристик.

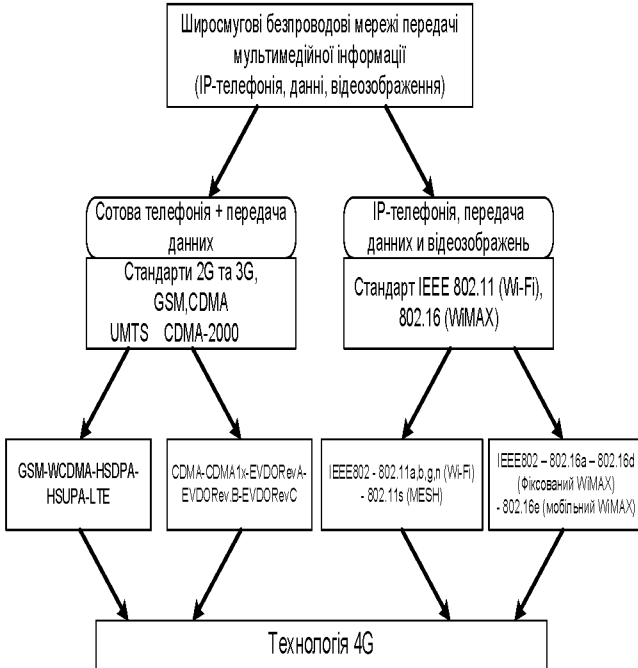


Рисунок 1 – Основні напрямки розвитку технології широкосмугового зв'язку

Надії операторів покладають на технологію мобільного WiMAX (IEEE 802.16e), що починає активно впроваджуватися у всіх країнах світу. Технологія 3G широко використовується операторами стільникового зв'язку.

Порівнюючи два напрямки розвитку 3G і IEEE 802, слід зазначити, що кожна із цих технологій займає свою нішу на великому ринку безпроводового зв'язку. Компанія Intel і цілий ряд інших великих компаній здійснюють розвиток і комерціалізацію технологій WiMAX. Інтенсивний розвиток і впровадження технології LTE реалізується компанією Alcatel-Lucent разом з фірмами NEC Corporation і LG Electronics.

На сьогоднішній день вимоги кінцевих користувачів до надаваних послуг (рисунок 2) постійно підвищуються. Мобільні мережі будуть використовуватися не тільки для стільникового зв'язку, але й для передачі відео, мобільного ТВ, музики й роботи з Інтернет на високих швидкостях і з високою якістю передачі. Саме із цією метою в рамках проекту співробітництва в створенні мереж третього покоління 3GPP (3G Partnership Project) була почата розробка LTE.



Рисунок 2 – Широкосмугові послуги , що стимулюють еволюцію систем 3G

Дана технологія дозволить досягти значних швидкостей передачі даних – до 50 Мбіт/с для визхідного каналу й до 100 Мбіт/с для нисхідного каналу. У порівнянні з раніше розробленими системами 3G радіоінтерфейс LTE забезпечить поліпшені технічні характеристики. Зокрема, в LTE ширина смуги пропускання може варіюватися від 1.25 МГц до 20 МГц, що дозволить задовольнити потребам різних операторів зв'язку, що мають різні смуги пропускання, при цьому LTE повинен буде одночасно підтримувати не менш 200 активних з'єднань (тобто 200 телефонних дзвінків) на кожні 5 МГц.

Так само очікується, що LTE поліпшить ефективність використання спектру частот, що призведе до збільшення кількості даних, переданих у заданому діапазоні частот. Радіоінтерфейс LTE позиціонується як рішення, на яке оператори будуть поступово переходити з нинішніх систем стандартів 3GPP і 3 GPP2 , а його розробка є важливим етапом у процесі переходу до мереж четвертого покоління 4G.

Таблиця 1 – Порівняння LTE з технологіями Wi-Fi і WiMAX

Параметр	LTE	Wi-Fi	Фікс. WiMAX	Моб. WiMAX
Стандарт	3GPP Release 8	IEEE 802.11	IEEE802.16-2004	IEEE 802.16e-2005
Швидкість у нисхідному радіоканалі	100Мбіт/с на 20 МГц	Загальна швидкість 54Мбіт/с для 802.11 a/g Більше 100Мбіт/с для 802.11n	9,4Мбіт/с DL/ UL=3. 6,14Мбіт/с DL/UL=1 на 3.5 МГц	46Мбіт/с DL/ UL=3. 32Мбіт/с DL/UL=1 на 10 МГц
Швидкість висхідного радіоканалу	50Мбіт/с на 20 МГц	Загальна швидкість 54Мбіт/с для 802.11 a/g Більше 100Мбіт/с для 802.11n	6,5Мбіт/с DL/ UL=1. 3,3Мбіт/с DL/ UL=3. на 3.5 МГц	7Мбіт/с DL/ UL=1. 4Мбіт/с DL/ UL=3. на 10 МГц
Смуга пропускання	Від 1.25 до 20МГц	20 МГц для 802.11 a/g 20/40 для 802.11n	3.5 і 7 МГц у смузі 3.5 ГГц 10МГц у смузі 5.8 ГГц	3.5,7,10 і 8,75 МГц
Модуляція	BPSK,QPSK,16 QAM,64QAM	BPSK,QPSK,16 QAM,64QAM	QPSK,16 QAM,64QAM	QPSK,16 QAM,64QAM
Мультиплексування	OFDMA/SC-FDMA	CSMA	TDM	TDM/OFDMA
Розподіл каналу	TDD/FDD	TDD	TDD/FDD	TDD
Частоти	1.9-2.3ГГц	2.4 і 5 ГГц	3.5,5.8 і 11 ГГц	2.3,2.5 і 3.5 ГГц
Покриття	До 5 км	до 300 м	5-7 км	До 3 км
Мобільність	Висока	Низька	Нема	Середня

1 ЕТАПИ РОЗВИТКУ ТА ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

Початком роботи 3GPP – Партнерські проекти по мережах третього покоління над подальшим розвитком цих мереж вважається семінар по еволюції RAN, проведений 2 - 3 листопада 2004 року в Торонто, Канада. Основними цілями й завданнями робіт з подальшого розвитку UMTS стали:

- 1) зниження собівартості на біт інформації;
- 2) збільшення кількості послуг з орієнтацією на вимоги абонентів;
- 3) підвищення гнучкості використання наявних і нових частотних діапазонів;
- 4) спрощення архітектури, відкритості інтерфейсів;
- 5) поліпшення раціонального споживання енергії абонентськими терміналами.
- 6) забезпечення єдиних параметрів стандартизації й виключення зайвих опцій.

Таким чином, головними цілями еволюції систем є подальше поліпшення якості надання послуг і зменшення витрат користувачів, а також і експлуатаційних витрат операторів.

Основні етапи розвитку технології LTE представлені на рисунку 1.1:



Рисунок 1.1 – Основні етапи розвитку технології LTE

Розробка технології LTE почалася наприкінці 2004 року. Основною метою досліджень на даному етапі був вибір технології фізичного рівня, що змогла б забезпечити високу швидкість передачі даних. У якості основних були запропоновані два варіанти: розвиток існуючого радіоінтерфейсу – WCDMA (використовуваного в HSPA) і створення нового на основі технології OFDM. У результаті проведених досліджень єдиною технологією, що задовольняє вимогам, поставленими перед LTE, виявилася технологія OFDM, і в травні 2006 року в 3GPP був прийнятий перший стандарт на радіоінтерфейсі Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA). Подальший розвиток технології LTE триває й донині.

Стандарт LTE спроектований, щоб задовольнити наступним вимогам:

1. Підтримувати смуги пропускання 1.25, 2.5, 5.0, 10.0 і 20.0 МГц.
2. Забезпечити максимальну швидкість передачі:
 - а) нисхідного трафіку до 100 Мбіт/з на канал в 20 МГц;
 - б) висхідного трафіку до 50 Мбіт/з на канал в 20 МГц;
3. Підтримувати антенні конфігурації:
 - а) для нисхідної лінії зв'язку 4x2, 2x2, 1x2, 1x1;
 - б) для висхідної лінії зв'язку 1x2, 1x1;
4. Мобільність:
 - а) оптимальна робота на низьких швидкостях руху (<15 км/ч);
 - б) висока ефективність на швидкостях руху до 120 км/год;
 - в) підтримувати сполука на швидкостях до 350 км/год;
5. Зона покриття:
 - а) відмінна чутність на відстані до 5 км;
 - б) слабке зниження сигналу на відстанях від 5 до 30 км;
 - в) робота на відстанях до 100 км не заборонена стандартом;
6. Можливість роботи в режимах FDD і TDD.

При розробці стандарту LTE були використані наступні основні технології:

1. Схеми мультиплексування на основі OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing):
 - а) OFDMA - для нисхідного каналу;
 - б) SC-FDMA - для висхідного каналу;
2. Багатоантенні рішення (MIMO) (Multiple Input - Multiple Output).
3. Нова архітектура системи (SAE) (System Architecture Evolution).

2 ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ НИСХІДНОГО РАДІОКАНАЛУ

2.1 Формування OFDM

В основу організації нисхідного (downlink) радіоканалу LTE покладена технологія OFDM з передачею даних по ряду вузькосмугових піднесучих. На сьогоднішній день дана технологія знайшла широке застосування в таких технологіях як Wi-Fi, WiMAX і DVB, за рахунок її стійкості до багатопроменевої інтерференції, і високої ефективності використання радіочастотного спектру. На рисунку 2.1 показано частотно-часове представлення OFDM сигналу. Вхідний потік даних залежно від стану радіоканалу перетворюється в QPSK, 16QAM, або 64QAM символи, які паралельно передаються по ряду вузьких ортогональних піднесучих. Відстань між сусідніми піднесучими 15 кГц. У часовій області, перед кожним символом додається циклічний префікс CP (Cyclic Prefix). Циклічний префікс являє собою кінець переданого символу, і використовується на прийомній стороні для виявлення й згладжування збурювань, що виникають через багатопроменеву інтерференцію.

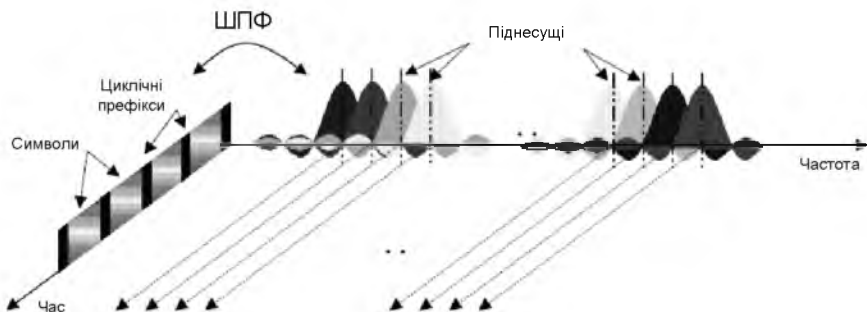


Рисунок 2.1 – OFDM-послідовність

Технологія ортогонального частотного мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) заснована на формуванні багаточастотного сигналу, що складається з піднесучих частот, що відрізняються на величину $\Delta f = \frac{|\omega_n - \omega_{n-1}|}{2\pi}$, обрану з умови ортогональності сигналів на сусідніх піднесучих (ω_n – радіальна частота n-го піднесучого коливання).

При формуванні OFDM сигналу потік послідовних інформаційних символів тривалістю T_u/N розбивається на блоки, що містять N символів. Далі блок послідовних інформаційних символів перетворюється в

паралельний, у якому кожний із символів відповідає певній піднесучій багаточастотного сигналу. При цьому тривалість символів збільшується в N раз. Таким чином, сумарна ширина спектру багаточастотного сигналу відповідає ширині спектру вихідного послідовного сигналу.

Метою такого перетворення є захист від вузькосмугових завад (або від часткових перекручувань спектру в результаті перевідбиттів і багатопроменевого поширення). Це досягається тим, що паралельні символи багаточастотного сигналу являють собою кодове слово завадостійкого коду (наприклад, коду Ріда-Соломона), що дозволяє їх відновити у випадку помилкового прийому за рахунок перекручувань спектра. Перетворення сигналу з часової в частотну область забезпечується дискретним перетворенням Фур'є (DFT - Discrete Fourier Transform).

Крім того, перевага OFDM полягає в зменшенні необхідної кількості часових захисних інтервалів. При послідовному сигналі захисні інтервали додаються між кожними символами, а при багаточастотному - між групами символів (OFDM-Символами). Особливості сигналів OFDM:

- 1) Мультиплексування несучих коливань, модульованих інформаційними символами за обраним законом (QPSK, 16QAM, 64QAM);
- 2) Піднесучі є ортогональними (взаємна кореляційна функція дорівнює нулю), або, принаймні, квазіортогональними (на практиці);
- 3) Кожний OFDM-Символ має захисний часовий інтервал для виключення межсимвольної інтерференції. Цей захисний інтервал вибирається з урахуванням імпульсної характеристики лінії зв'язку (фізичного середовища поширення радіосигналу).

Принцип формування OFDM-сигналу представлено на рисунку 2.2.

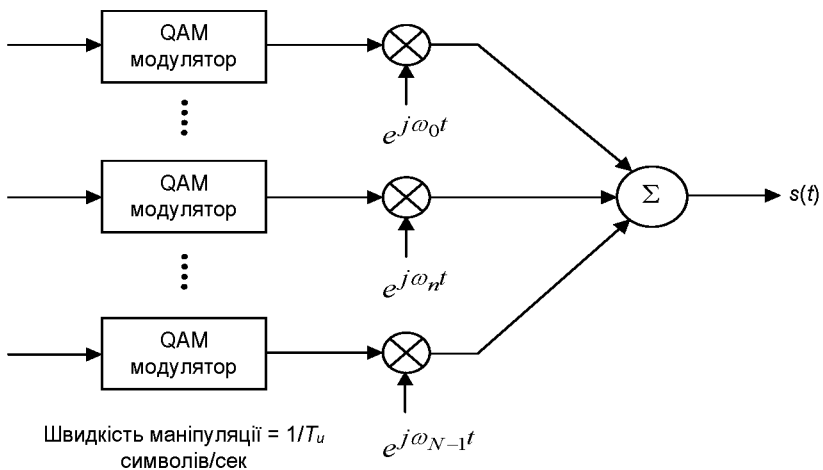


Рисунок 2.2 – Принцип формування OFDM-сигналу.

На практиці при формуванні OFDM-сигналу використовується зворотне дискретне швидке перетворення Фур'є (Inverse Fast Fourier Transform -IFFT) на N крапок (рисунок 2.3). Це значно спрощує практичну реалізацію прийомопередавачого пристрою OFDM.

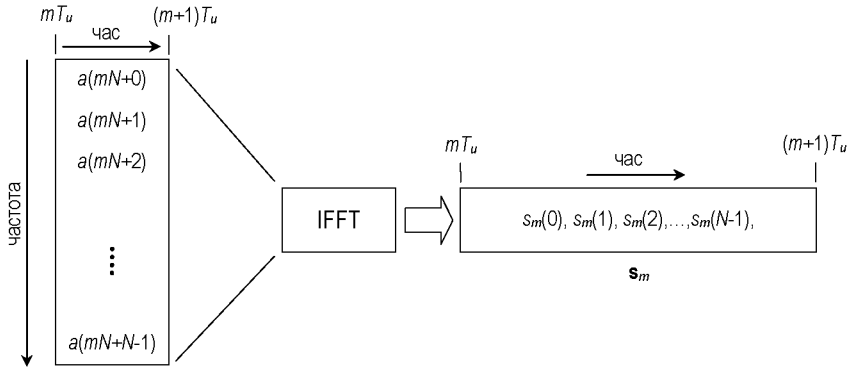


Рисунок 2.3 – Використання перетворення IFFT при формуванні OFDM-сигналу

На рисунку 2.4 під $a(m+n)$ позначено модульований символ n -го частотного підканалу тривалістю T_u в інтервалі часу $mT_u < t < (m+1)T_u$. Вектор s_m на виході IFFT являє собою OFDM-Символ. Схема формування OFDM-Символу в передавачі базової станції мережі E-UTRAN показана на рисунку 2.4.

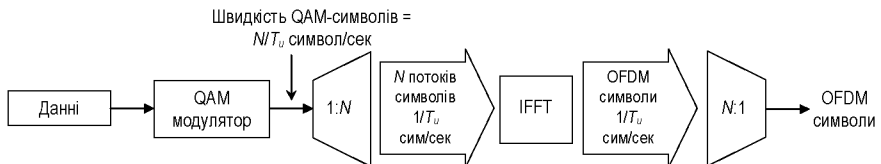


Рисунок 2.4 – Схема формування OFDM-Символу в передавачі базової станції мережі E-UTRAN.

Схема формування OFDM сигналів у режимі TDD використовує циклічні префікси CP (Cyclic-Prefix) для боротьби з межсимвольною інтерференцією із тривалістю TCP $\approx 4.7/16.7$ мкс (при рознесенні піднесучих на 15 кГц). Часові відрізки (кадри тривалістю 10 мс) складаються з 20 підкадрів однакової тривалості $T_{sub-frame} = 0.5$ мс. Параметри сигналів OFDM лінії «вниз» у режимі TDD наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри сигналу OFDM/OQAM нисхідного каналу

Смуга сигналу BW, МГц	1.25	2.5	5	10	15	20	
Тривалість підкадру	0.5 мс						
Частотне рознесення піднесучих	15 кГц						
Частота дискретизації (тактова частота), МГц	1.92 (1/2 × 3.84)	3.84	7.68 (2 × 3.84)	15.36 (4 × 3.84)	23.04 (6 × 3.84)	30.72 (8 × 3.84)	
Розмір перетворення FFT	128	256	512	1024	1536	2048	
Кількість піднесучих	76	151	301	601	901	1201	
Кількість OFDM символів у підкадрі (Short/Long CP)	7/6						
Довж. CP, мкс/samples	Короткий	$(4.69/9) \times 6, (5.21/10) \times 1$	$(4.69/18) \times 6, (5.21/20) \times 1$	$(4.69/36) \times 6, (5.21/40) \times 1$	$(4.69/72) \times 6, (5.21/80) \times 1$	$(4.69/108) \times 6, (5.21/120) \times 1$	$(4.69/144) \times 6, (5.21/160) \times 1$
	Довгий	(16.67/32)	(16.67/64)	(16.67/128)	(16.67/256)	(16.67/384)	(16.67/512)

2.2 Структура кадру Downlink

Для одночасної роботи в радіоканалі декількох передавальних пристроїв необхідно забезпечити поділ частотно-часового ресурсу. Наприклад, у степі протоколів 802.11 доступ до каналу забезпечується на основі множинного доступу з виявленням несучої (CSMA). Кожний пристрій перед початком передачі сканує активність у каналі. Якщо середовище передачі не зайняте, то пристрій починає зменшувати довільно обраний лічильник відстроочки backoff (це зменшує ймовірність одночасної передачі двома пристроями). Лічильник продовжує зменшуватися доти, поки середовище залишається не зайнятим. Коли лічильник відстроочки досягає нуля, пристрій починає передачу кадру фізичного рівня (рисунок 2.5). Спочатку передається преамбула (PHY preamble), необхідна для синхронізації передавального й приймаючого пристроїв, далі, заголовок фізичного рівня (PHY header) і дані (Data), перетворені в OFDM символи. При цьому під час передачі вся смуга пропускання каналу використовується передавальною станцією. У випадку успішної передачі, приймаюча станція відповідає позитивно квитанцією АСК. У випадку ж виникнення колізії (коли в каналі одночасно передають дві або більше станції) спроба передачі повторюється.

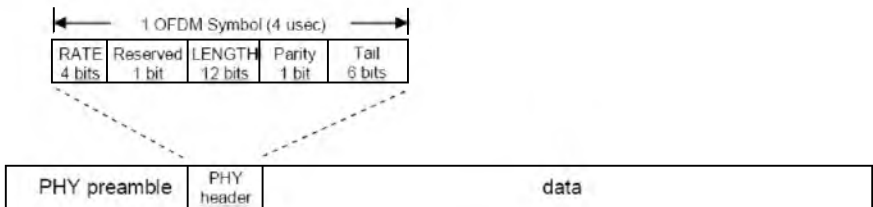


Рисунок 2.5 – Структура кадру протоколу 802.11.

Слід зазначити, що ефективність систем, побудованих на основі CSMA, становить близько 50 відсотків. Іншими словами при номінальній швидкості в 54 Мбіт/с – реальна швидкість передачі складає 25-30 Мбіт/с. Насамперед це пов'язано з неможливістю повністю усунути виникнення колізій. У випадку виникнення колізії канал простоює досить тривалий час і передача загубленого кадру повторюється, що досить різко знижує пропускну здатність і збільшує затримку при передачі даних. Наявність у кожному кадрі преамбули й випадкового часу відстроочки також зменшують ефективність використання радіоресурсу. У зв'язку із цим для організації нисхідного каналу LTE була запропонована нова схема мультиплексування Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA), побудована на основі технології OFDM.

Основна ідея OFDMA полягає в тому, що кожному абонентові виділяється деяка кількість піднесучих на певний проміжок часу. У специфікаціях LTE це називається фізичними ресурсними блоками (PRBs).

Таким чином, PRBs мають як часову розмірність, так і частотну. Виділення ресурсних блоків здійснюється функцією планування на базовій станції (eNode).

Щоб зрозуміти загальні принципи роботи OFDMA, розглянемо більш докладно структуру кадру нисхідного каналу LTE. На рисунку 2.6 показана структура кадру для випадку дуплексного зв'язку із частотним поділом каналів (FDD).

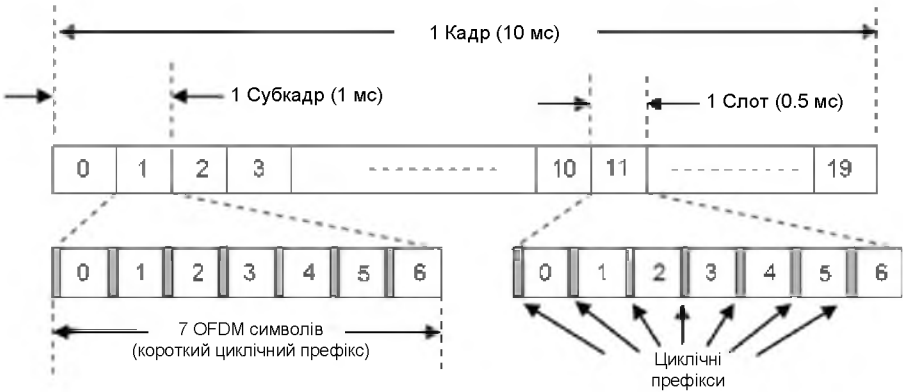


Рисунок 2.6 – Загальна структура кадру LTE.

Як видно з рисунку 2.6, тривалість кадру LTE – 10 мс. Кожний кадр ділиться на 10 субкадрів по 1 мс. У свою чергу кожний субкадр складається із двох слотів, тривалістю по 0.5 мс кожного. Слоти складаються з 6 або 7 OFDM символів, залежно від того якої використовується циклічний префікс (CP) – звичайний або розширений.

Загальна кількість доступних піднесучих залежить від ширини смуги пропускання каналу. У специфікаціях LTE ширина каналу може варіюватися від 1.25 до 20.0 МГц. Фізичний ресурсний блок (PRB) складається з 12 послідовних піднесучих тривалістю в один слот (0.5 мс). PRB є мінімальним ресурсним елементом виділюваним планувальником базової станції.

Переданий сигнал можна представити у вигляді частотно-часової ресурсної сітки (рисунку 2.7). Кожна чарунка сітки являє собою окрему піднесучу тривалістю в один символ і називається ресурсним елементом.

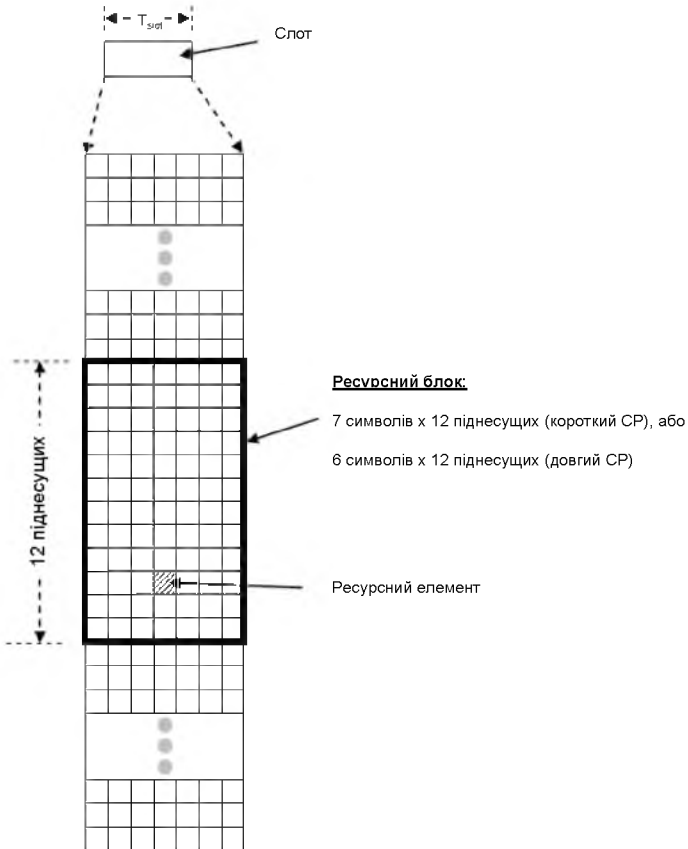


Рисунок 2.7 – Ресурсна сітка нисхідного каналу

На відміну від пакетних мереж, в LTE немає фізичної преамбули, що необхідна для синхронізації й оцінки зсуву несучої. Замість цього, у кожному ресурсний блок додаються опорні сигнали. Опорні сигнали передаються під час першого й п'ятого OFDM символу кожного слоту у випадку використання короткого циклічного префікса CP, і під час першого й четвертого OFDM символу – у випадку довгого префікса.

2.3 Фізичні канали Downlink

В LTE існує три фізичних канали. Загальна особливість фізичних каналів полягає в тому, що всі вони передають інформацію з вищих рівнів в LTE стек. Це головна відмінність від фізичних сигналів, які передають інформацію, використовувану винятково в рамках РНУ рівня.

Фізичні канали LTE:

1. Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)
2. Physical Downlink Control Channel (PDCCH)
3. Common Control Physical Channel (CCPCH)

Будь-який фізичний канал визначає алгоритми для:

1. Скремблінг
2. Модуляція
3. Layer mapping
4. Призначення ресурсного елемента

Physical Downlink Shared Channel - Розподілений транспортний фізичний канал. PDSCH в основному використовується для передачі даних і мультимедійних повідомлень. Тому він розроблений з урахуванням дуже високих швидкостей передачі даних. Використовується модуляція QPSK, 16QAM і 64QAM і просторове мультиплексування. Фактично просторове мультиплексування є унікальною особливістю PDSCH, воно не використовується ні в PDCCH, ні в CCPCH.

Physical Downlink Control Channel - Фізичний канал керування. PDCCH передається керуюча інформація. Надійність, а не максимальна швидкість, є завданням цього каналу. Для даного каналу, єдиний доступний вид модуляції - QPSK. Ресурсні елементи PDCCH займають перші три символи OFDM у першому слоті субкадру.

Common Control Physical Channel - Загальний фізичний канал керування. CCPCH містить інформацію контролю всього осередку. Як і в PDCCH основною прерогативою є надійність, тому єдиний доступний вид модуляції QPSK. Крім того, CCPCH передається наскільки можливо близько до несучої частоти. Інформація CCPCH передається винятково на 72 активні піднесучі. Керуюча інформація втримується на ресурсних елементах (k,l), де до відноситься до OFDM символу в межах кадру, а l характеризує піднесучу.

Зв'язок транспортних і фізичних каналів показана на рисунку 2.8. E-UTRAN для LTE визначені чотири транспортних канали:

1. BCH (Broadcast Channel) - віщальний канал;
2. PCH (Paging Channel) - канал виклику (пейджинга);
3. DL-SCH (Downlink Shared Channel) - сполучений канал лінії «вниз»;
4. MCH (Multicast Channel) - канал віщання в групі.

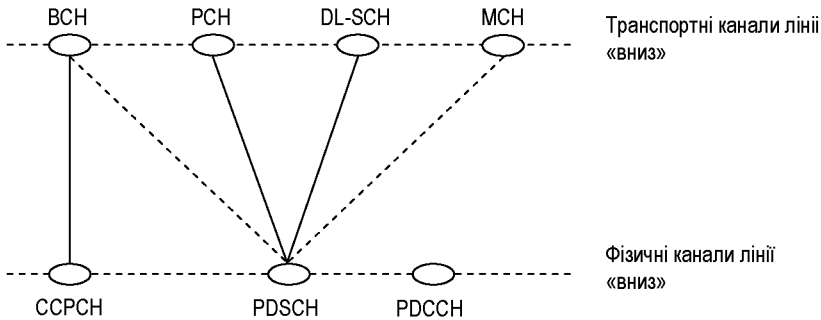


Рисунок 2.8 – Зв'язок транспортних і фізичних каналів у лінії «вниз» E-UTRA

Як видно з рисунку 2.8, розвиток мереж LTE спрямовано на максимальне спрощення протоколів обміну інформацією.

2.4 Фізичні сигнали

Фізичні сигнали використовують призначені їм ресурсні елементи. Однак, на відміну від фізичних каналів, фізичні сигнали не передають інформацію вищим рівням. Є два типи фізичних сигналів:

1. Опорні сигнали, які використовуються для визначення відгуку імпульсу каналу
2. Сигнали синхронізації, які передають інформацію синхронізації

2.4.1 Опорні сигнали

Опорні сигнали генеруються шляхом перемноження ортогональної послідовності й псевдовипадкового числового (PRN) ряду. У цілому, існує 510 унікальних опорних сигналів. Опорні сигнали привласнюються кожному осередку в межах мережі, і виконує функції ідентифікатора для осередку.

Слід зазначити, що опорні сигнали передаються через кожні шість піднесучих. Більше того, вони зміщені як за часом, так і по частоті. При цьому реакція каналу для піднесучих, на яких розташовуються опорні сигнали, може бути визначена прямо. У той час як для інших піднесучих, реакція каналу визначається за допомогою інтерполяції.

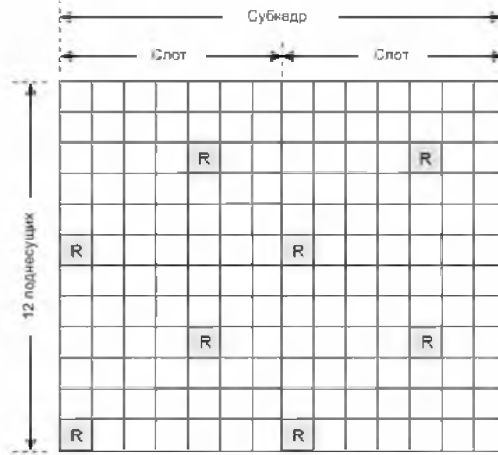


Рисунок 2.9 – Розташування опорних сигналів у спадному каналі.

2.4.2 Сигнали синхронізації

Сигнали синхронізації використовують той же самий тип псевдовипадкових ортогональних послідовностей, як і опорні сигнали. Вони підрозділяються на первинні й вторинні сигнали синхронізації, у залежності, від того, як вони використовуються під час процедура пошуку. І первинні й вторинні сигнали передаються на 72 зосереджених піднесучих, в 0-их і 10-их осередках структури субкадру.

3 ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИСХІДНОГО РАДІОКАНАЛУ

Основним недоліком OFDMA сигналу є його високе співвідношення пікової й середньої потужності (PAR). Для його реалізації потрібні досить потужні підсилювачі, що на сьогоднішній день досить складно реалізовано в мобільних пристроях з низькою потужністю й низьким зарядом батареї. У зв'язку із цим для висхідного (Uplink) каналу LTE була запропонована нова технологія – SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access). Таке рішення забезпечує менше відношення максимального й середнього рівнів потужності в порівнянні з використанням звичайної модуляції OFDM, у результаті чого підвищується енергофективність термінальних пристроїв і спрощується їхня конструкція.

Розглянемо більш докладно, як відбувається формування SC-FDMA сигналу. Передавач і приймач OFDMA і SC-FDMA сигналів мають схожу функціональну структуру (рисунок 3.1)

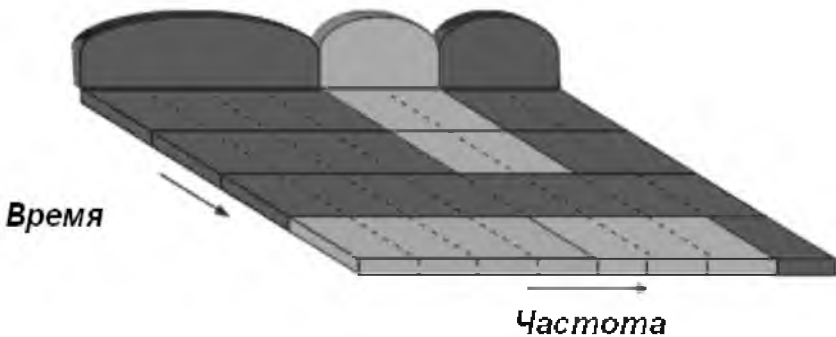


Рисунок 3.1 – SC-FDMA частотно-тимчасова структура у висхідній лінії зв'язку

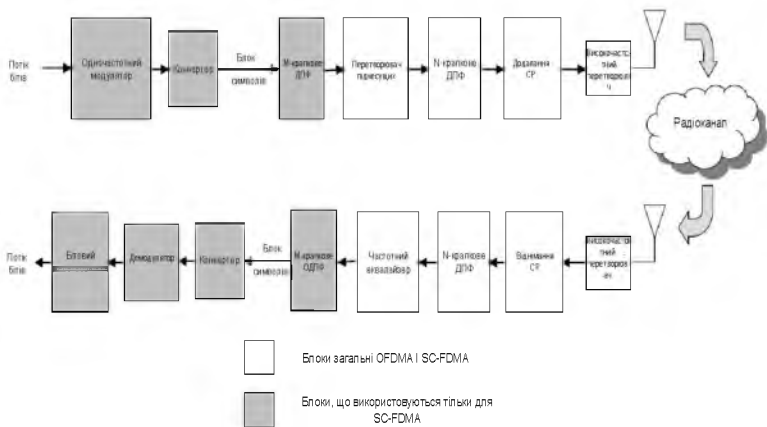


Рисунок 3.2 – Функціональна структура OFDMA, SC-FDMA передавача й приймача

Передавач складається з наступних функціональних блоків:

1. Одночастотний модулятор: перетворює вхідний потік бітів в одночастотні символи (BPSK, QPSK, або 16 QAM, залежно від стану радіоканалу)
2. Конвертор: формує блок з M символів ($M < N$ – числа піднесучих, використовуваних у радіоканалі) і подає їх на вхід M -Крапкового ДПФ.
3. M -розрядне Дискретне Перетворення Фур'є: перетворює блок символів з часової області в частотну
4. Перетворювач піднесучих: розподіляє вихідні символи ДПФ по N піднесучих. В SC-FDMA піднесучі розподіляються двома способами: локалізовано й розподілено (рисунок 3.3). У випадку розподіленого способу - інформація від кожного абонента розміщена у всьому спектрі сигналу, тому даний спосіб стійкий до частотно-вибірною завмирання. З іншого боку, у випадку локалізованого способу, можливо, визначити смугу, у якій для даного абонента досягається максимальна стійкість каналу до завмирань. А так як області завмирання сигналу для всіх абонентів різні, то можливе досягнення загальної максимальної ефективності використання радіоканалу. Більш докладно функції диспетчеризації описані нижче.
5. N -розрядне Зворотне Дискретне Перетворення Фур'є: перетворює сигнал із частотної області в часову
6. Додавання CP: формується аналоговий сигнал і до кожному SC-FDMA (OFDMA) символу додається циклічний префікс
7. Високочастотний перетворювач: спектр сигналу переноситься на несучу частоту й передається в ефір.

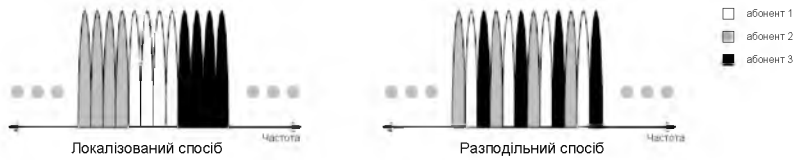


Рисунок 3.3 – Способи розподілу піднесучих в SC-FDMA

На прийомній стороні процес відбувається у зворотному напрямку. Головна відмінність SC-FDMA від OFDMA полягає в тому, що в OFDMA інформаційні символи передаються паралельно (кожний по своїй піднесучій), у той час як в SC-FDMA, кожний SC-FDMA символ складається з “підсимволів”, які представляють собою модульовані дані. Як видно з наведеної вище схеми, формування SC-FDMA сигналу відбувається за допомогою дискретного перетворення Фур'є, тому дану технологію в літературі іноді називають одночастотною технологією передачі інформації у вигляді OFDM, розподіленої за законом дискретного перетворення Фур'є (Discrete Fourier Transform Spread OFDM).

Як приклад, на рисунку 3.4 показаний розподіл послідовності QPSK символів по частоті й у часі при використанні різних способів модуляції. При використанні OFDMA інформаційні символи передаються паралельно. У цьому випадку на 4 піднесучих, паралельно передаються 4 символи. Тривалість кожного символу 66.7 мкс, а відстань між сусідніми піднесучими 15 кГц.

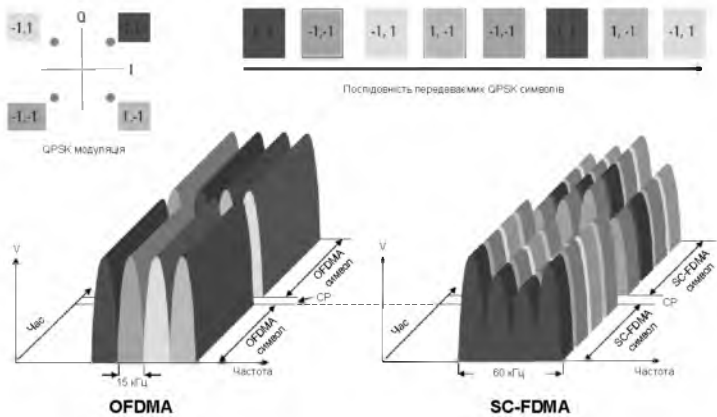


Рисунок 3.4 – Відмінність між OFDMA і SC-FDMA при передачі послідовності QPSK символів

На відміну від OFDMA в SC-FDMA (права половина рисунка) інформаційні символи передаються послідовно в часі, але в більше широкому частотному діапазоні (у нашому прикладі 4x15кГц), при цьому OFDMA і SC-FDMA символи мають однакову тривалість 66.7 мкс.

Структура кадру висхідного радіоканалу LTE з використанням FDD така ж, як і у випадку нисхідного каналу. Ресурсні блоки складаються з 12 послідовних піднесучих тривалістю в один слот. Кожному абонентові мережі для передачі даних від базової станції за допомогою функції планування на певний час виділяється деяка кількість ресурсних блоків. Розклад передається абонентам по службових каналах у спадному радіоканалі.

3.1 Фізичні канали Uplink

Висхідний канал E-UTRAN передбачає використання наступних фізичних каналів:

1. PRACH (Physical random access channel) - фізичний канал довільного (випадкового) доступу;
2. PUCCH (Physical uplink control channel) - фізичний канал керування лінії «вгору»;
3. PUSCH (Physical uplink shared channels) - фізичний розподілений транспортний канал лінії «вгору».

Зв'язок транспортних і фізичних каналів показана на рисунку 3.5. У цей час в E-UTRAN для LTE визначено два транспортних канали лінії «вгору»:

1. RACH (Random Access Channel) - канал випадкового доступу;
2. UL-SCH (Uplink Shared Channel) - розподілений канал лінії

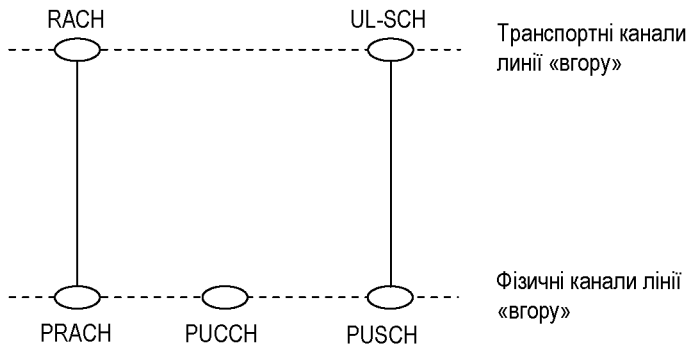


Рисунок 3.5 – Зв'язок транспортних і фізичних каналів у лінії «нагору» E-UTRAN