

## 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.

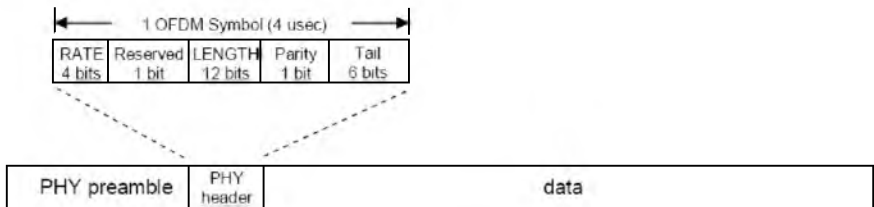


Рисунок 2.5 – Структура кадру протоколу 802.11.

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).

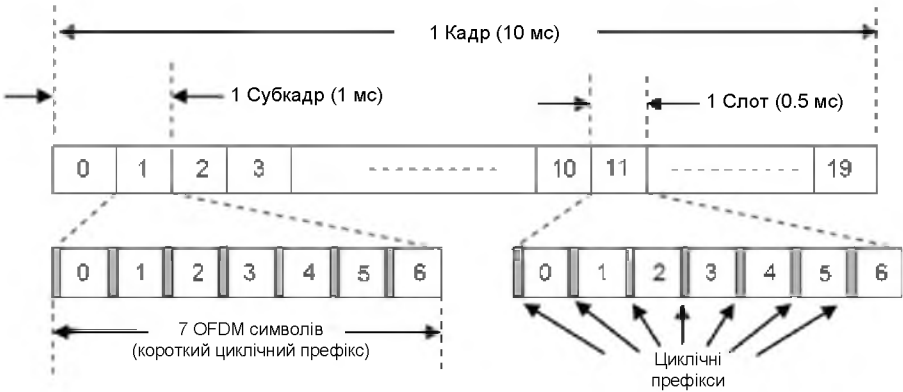


Рисунок 2.6 – Загальна структура кадру LTE.

Як видно з рисунку 2.6, тривалість кадру LTE – 10 мс. Кожний кадр ділиться на 10 субкадрів по 1 мс. У свою чергу кожен 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.

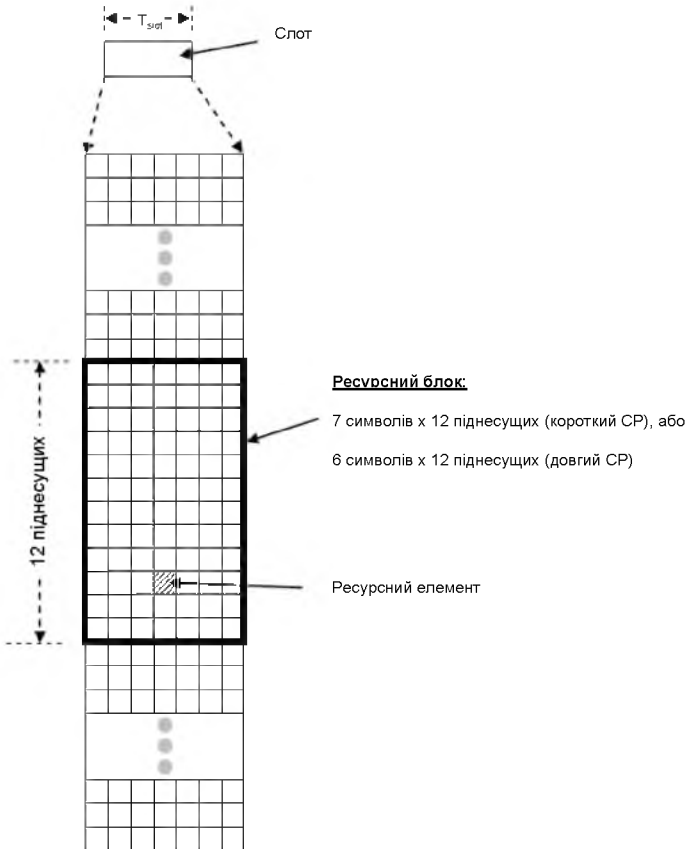


Рисунок 2.7 – Ресурсна сітка нисхідного каналу

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.

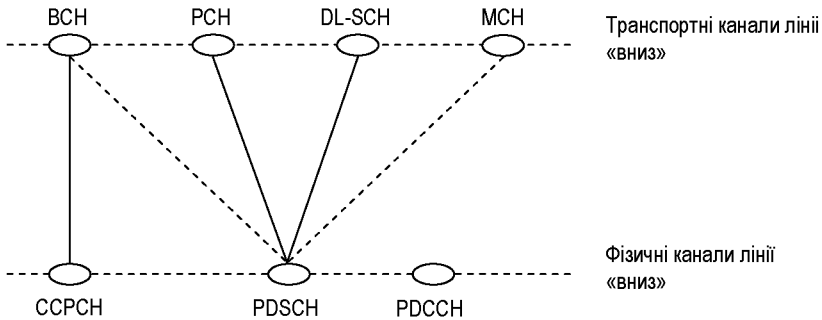


Рисунок 2.8 – Зв'язок транспортних і фізичних каналів у лінії «вниз» E-UTRA

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.

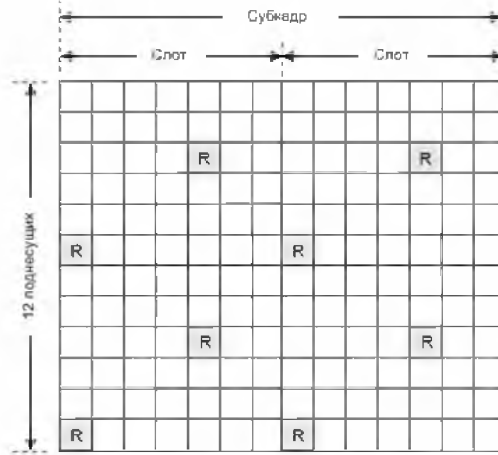


Рисунок 2.9 – Розташування опорних сигналів у спадному каналі.

## 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)

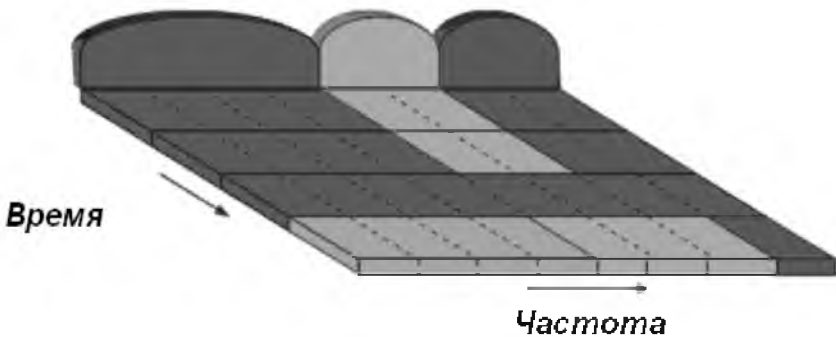


Рисунок 3.1 – SC-FDMA частотно-тимчасова структура у висхідній лінії зв'язку

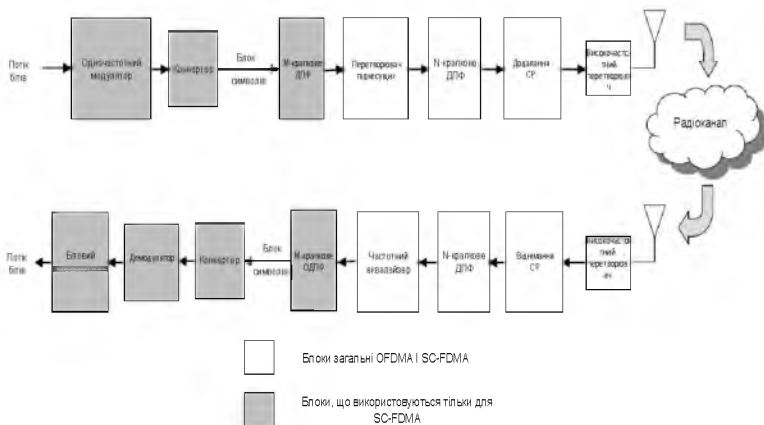


Рисунок 3.2 – Функціональна структура OFDMA, SC-FDMA передавача й приймача

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.



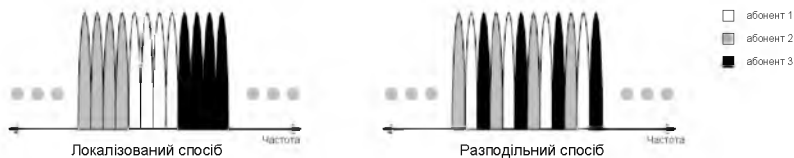


Рисунок 3.3 – Способи розподілу піднесучих в SC-FDMA

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.

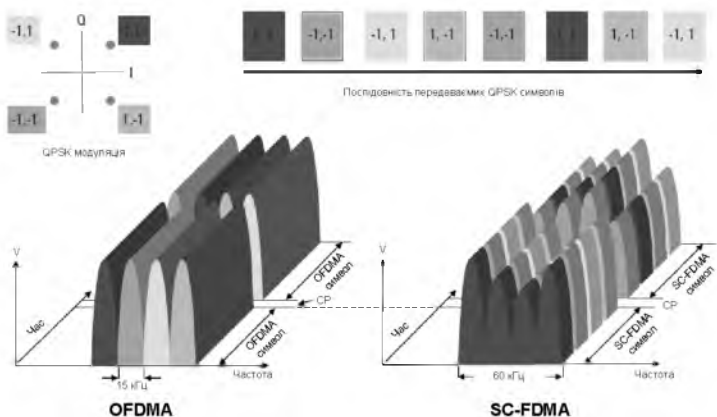


Рисунок 3.4 – Відмінність між OFDMA і SC-FDMA при передачі послідовності QPSK символів

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

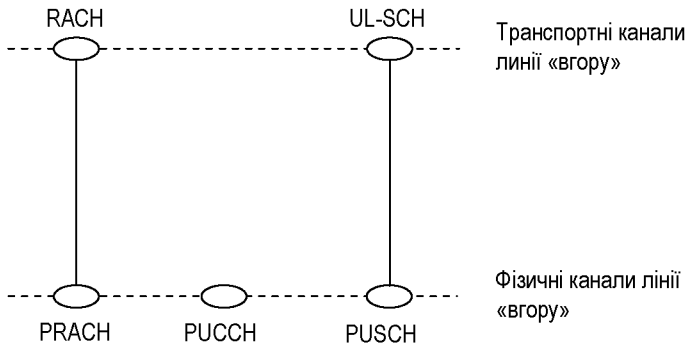


Рисунок 3.5 – Зв'язок транспортних і фізичних каналів у лінії «нагору» E-UTRAN