

## ПОКРАЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІОІНТЕРФЕЙСУ LTE/HSOPA

*Запропоновано спосіб покращення радіоінтерфейсу високошвидкісного пакетного доступу за технологією OFDM. Проведено імітаційні дослідження на базі створеного програмного забезпечення. Запропоновано використання Offset QAM-модуляції для підвищення швидкості передавання даних та зменшення кількості бітових помилок. Отримані результати можуть бути корисним при проектуванні нових мереж радіодоступу на базі технології LTE.*

*The enhancement of High Speed OFDM Packet Access radio-interface had been offered. The research had been performed on the basis of designed simulation model. OQAM had been proposed for data rate increasing and BER reduction. The obtained results may be useful for design of new wireless networks based on LTE technology.*

### 1. ВСТУП

Зміна ідеології передавання даних, викликана використанням технології OFDM в безпроводних мережах WiFi/WiMAX, не оминула і мереж мобільного зв'язку. Розроблення технології HSOPA (High Speed OFDM Packet Access) переросло в концепцію довготривалої еволюції LTE (Long Term Evolution) системи UMTS.

Радіоінтерфейс LTE підтримує обидва методи дуплексного розділення каналів: частотний FDD і часовий TDD [1-3]. Особливістю радіоінтерфейсу в лінії «вниз» мережі E-UTRAN є використання технології множинного доступу OFDMA, що забезпечує високу гнучкість розподілу і масштабованість радіоресурсів для каналів передавання даних з різною смугою пропускання. Це забезпечує незначну тривалість очікування і високу ефективність планування передачі пакетів у радіоінтерфейсі. У лінії «вниз» наразі використовуються наступні види модуляції: QPSK, 16QAM і 64QAM.

### 2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЇ OFDM

Технологія ортогонального частотного мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) передбачає формування багаточастотного сигналу, що складається з певної кількості піднесу-

---

<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка"

чих частот, які відрізняються на величину, вибрану з умови ортогональності сигналів на сусідніх піднесучих коливаннях[4].

При формуванні OFDM сигналу потік послідовних інформаційних символів розбивається на блоки. Далі блок послідовних інформаційних символів перетворюється в паралельний, в якому кожен з символів відповідає певній піднесучій багаточастотного сигналу. При цьому тривалість символів збільшується в  $N$  разів. Таким чином, сумарна ширина спектру багаточастотного сигналу відповідає ширині спектру початкового послідовного сигналу.

Метою такого перетворення є захист від вузькосмугових перешкод (або від часткових спотворень спектру в результаті перевідбиттів і багатопроменевого розповсюдження). Це досягається тим, що паралельні символи багаточастотного сигналу є кодовим словом завадостійкого коду, який дозволяє їх відновити у разі помилкового приймання за рахунок спотворень спектру. Частотно-часове представлення OFDM сигналу подано на рис. 1. Перетворення сигналу з часової в частотну область забезпечується дискретним перетворенням Фур'є (DFT – Discrete Fourier Transform).

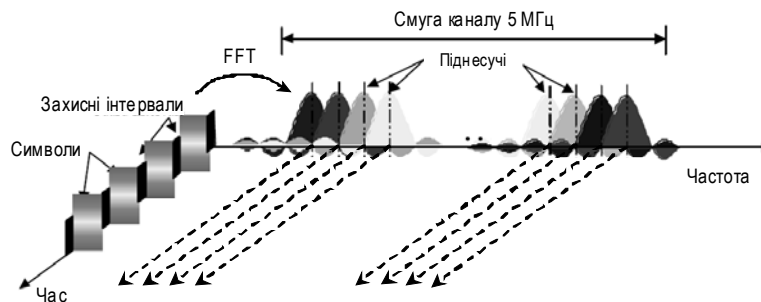


Рис. 1. Частотно-часове представлення OFDM сигналу при ширині спектру 5 МГц

Крім того, перевага OFDM полягає в зменшенні необхідної кількості часових захисних інтервалів. При послідовному сигналі захисні інтервали додаються між кожним символом, а при багаточастотному – між групами символів (OFDM-символами).

Особливістю сигналів OFDM є:

1. мультиплексування піднесучих коливань, які модулюються інформаційними символами по вибраному закону (QPSK, 16QAM, 64QAM);
2. піднесучі є ортогональними (взаємна кореляційна функція рівна нулю), або, принаймні, квазіортогональні (на практиці);

3. кожен OFDM-символ має захисний часовий інтервал для усунення впливу міжсимвольної інтерференції. Цей захисний інтервал вибирається з урахуванням імпульсної характеристики лінії зв'язку (фізичного середовища розповсюдження радіосигналу).

Захисний інтервал в OFDM-сигналі суттєво погіршує параметри системи, оскільки збільшує тривалість символу на  $0.2T$  і вносить втрати по швидкості передавання. При використанні модуляції QAM обійтись без захисного інтервалу неможливо, оскільки реакція каналу не встигає наблизитись до нуля до моменту передавання наступного символу.

Цю проблему можна вирішити шляхом використання прототипів з кращою локалізацією. Але властивості локалізації коротких вузькокутових сигналів в глобальному контексті підкоряються обмеженням теореми Балліана-Лоу[5]. Несумісність локалізації та ортогональності породжує труднощі при модуляції. Згідно некомутативності частотно-часової площини, неможливо маніпулювати затримками і частотами незалежно для досягнення найкращої продуктивності в рамках заданого інтервалу часу:

$$\tau_0 \nu_0 = 1. \quad (1)$$

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ OFDM/OQAM

Модуляція OFDM/OffsetQAM [6], на відміну від OFDM, яка стала традиційною, не вимагає наявності захисних інтервалів (циклічних префіксів).

При формуванні сигналу OFDM/OQAM символи QAM ( $c_{mn}$ ) розділяють на дві комплексні складові: дійсну частину  $\text{Re}\{c_{mn}\} = a_{mn}$  і уявну  $\text{Im}\{c_{mn}\} = b_{mn}$ , причому уявна частина зсувається в часі на величину  $T_s/2$  щодо дійсної (рис.2).

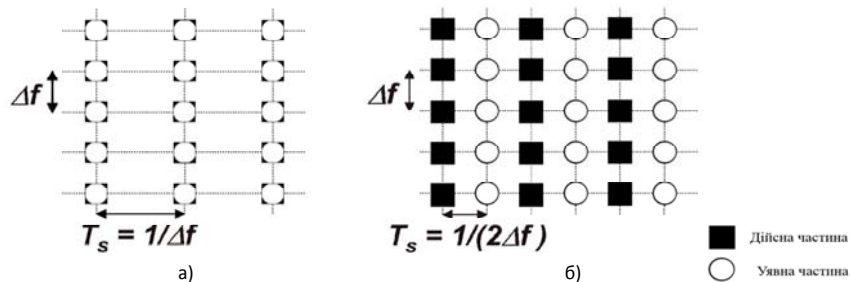


Рис.2. Частотно-часова матриця сигналів OFDM/OQAM і OFDM/OQAM

Замість використання комплексних символів в OFDM/QAM схемі, дійсні символи, модульовані QAM зі зсувом (OQAM), передаються на кожній піднесучій з віконною функцією, яку отримують перенесенням прототипної функції в частотно-часовий діапазон наступним чином:

$$g_{m,n}(t) = e^{j(m+n)\pi/2} e^{j2\pi m\nu_0 t} g(t - n\tau_0), \quad \nu_0 \tau_0 = 1/2, \quad (2)$$

тобто подвоюється символна швидкість, і вдвічі зменшується інформаційна швидкість.

При використанні квадратурно-амплітудної модуляції виконується умова теореми Балліана-Лоу, оскільки:

$$\tau_0 \nu_0 = 1/2. \quad (3)$$

Це дозволяє використовувати багатофазну фільтрацію (функція ІОТА) після швидкого зворотного перетворення Фур'є, що виключає використання циклічних префіксів. Завдяки функції ІОТА відбувається локалізація спектру, внаслідок чого зменшуються інтерференційні і внутрішньосистемні перешкоди в мережі.

В табл. 1 наведено основні відмінності між QAM і OQAM при їх застосуванні в системах з OFDM.

Таблиця 1

Ключові відмінності модуляції зі зсувом і традиційної квадратурно-амплітудної модуляції

| Параметр           | OFDM/QAM                              | OFDM/OQAM                                |
|--------------------|---------------------------------------|--|
| Символ             | Комплексний                           | Дійсний                                  |
| Захисний інтервал  | Потрібний                             | Не потрібний                             |
| Тривалість символу | $T_0 + \text{CP}$ (циклічний префікс) | $T_0/2$                                  |
| Прототип           | Прямокутний імпульс                   | ІОТА-функція, "півкосинус" функція Гауса |
| Реалізація         | ШПФ                                   | ШПФ + багатофазна фільтрація             |

На рис. 3. показано представлення сформованого OFDM сигналу при використанні квадратурно-амплітудної модуляції (а) та у випадку застосування квадратурно-амплітудної модуляції зі зсувом (б).

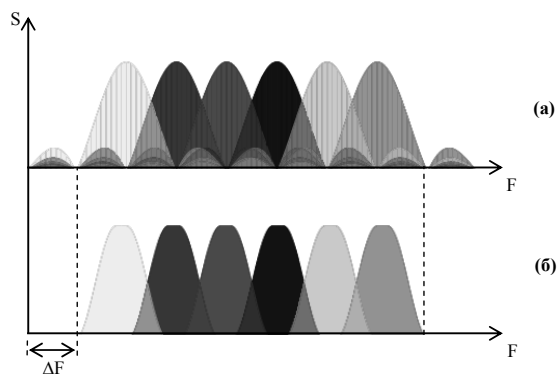


Рис. 3. Виграш технології OFDM/OQAM (б) в порівнянні з OFDM/QAM (а) в спектральній ефективності

Як видно з рис. 3, OQAM перевершує QAM в енергетичній ефективності, що може бути переведено у виграш по швидкості передавання при аналогічному співвідношенні “сигнал/шум” або дозволить зменшити значення параметра BER(Bit Error Rate).

#### 4. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ OFDM/QAM І OFDM/OQAM

Для визначення ефективності впровадження модуляції зі зсувом проведені імітаційні дослідження на основі створеної моделі фізичного рівня мережі LTE. Отримано залежності імовірності появи бітових помилок від співвідношення сигнал/шум для різних варіантів M-QAM та M-OQAM (деякі з них представлені на рис. 4 і рис. 5).

Відповідно можна розрахувати виграш у співвідношенні сигнал/шум  $E_b/N_0$ :

а) для  $M=16$ :

$$1 - (E_b/N_0)_{QAM} / (E_b/N_0)_{OQAM} = 1 - (15.16/13.62) * 100\% = 12.1 \%,$$

б) для  $M=64$ :

$$1 - (E_b/N_0)_{QAM} / (E_b/N_0)_{OQAM} = 1 - (19.7/17.6) * 100\% = 11.9 \%.$$

Якщо прийняти, що коефіцієнт появи бітових помилок залишиться сталим, то можна забезпечити ту ж саму якість передавання в умовах гірших радіоканалів, або збільшити дальність дії радіоканалу.

В табл. 2 наведено основні параметри сигналу OFDM/OQAM в лінії «вниз» системи UMTS/LTE: смуга сигналу, тривалість підкадру, частотне рознесення піднесучих, частота дискретизації, розмірність перетворення IFFT, кількість піднесучих.

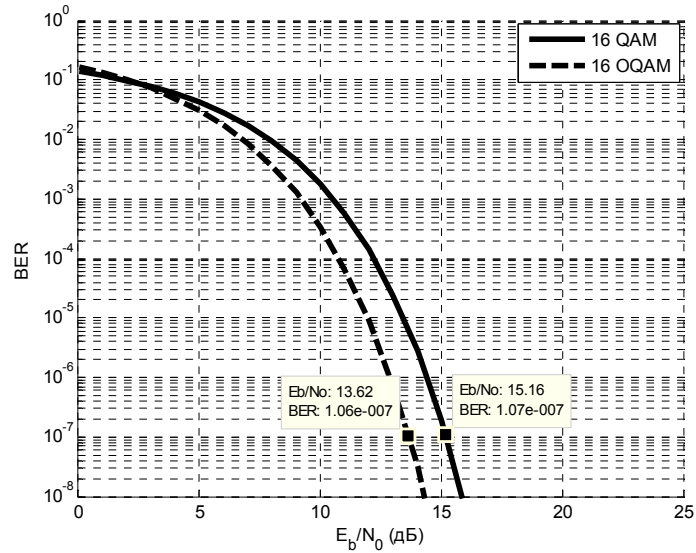


Рис. 4. Залежність BER від  $E_b/N_0$  для кількості позицій модульованого сигналу  $M=16$

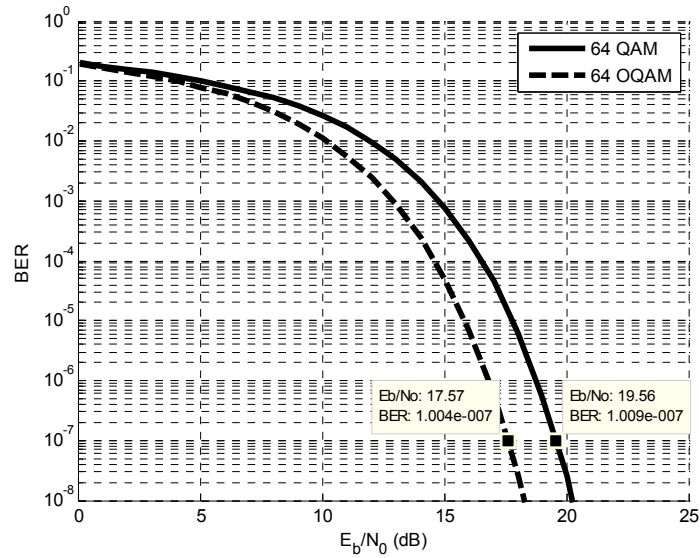


Рис. 5. Залежність BER від  $E_b/N_0$  для кількості позицій модульованого сигналу  $M=64$

## Параметри сигналу OFDM/OQAM лінії «вниз»

|  |      |      |      |       |       |       |
|--|------|------|------|-------|-------|-------|
| Смуга сигналу BW, МГц                        | 1.25 | 2.5  | 5    | 10    | 15    | 20    |
| Тривалість підкадру, мс                      | 0.5  |      |      |       |       |       |
| Частотне рознесення піднесучих, кГц          | 15   |      |      |       |       |       |
| Частота дискретизації (тактова частота), МГц | 1.92 | 3.84 | 7.68 | 15.36 | 23.04 | 30.72 |
| Розмір перетворення IFFT                     | 128  | 256  | 512  | 1024  | 1536  | 2048  |
| Кількість піднесучих                         | 76   | 151  | 301  | 601   | 901   | 1201  |

На основі розробленої імітаційної моделі також проведено дослідження впливу модуляції із зсувом на швидкість передавання інформації, оскільки цей критерій в першу чергу асоціюється із якістю системи з точки зору користувача. Для тих же початкових умов побудовано залежності швидкості передавання, від співвідношення сигнал/шум (рис. 6).

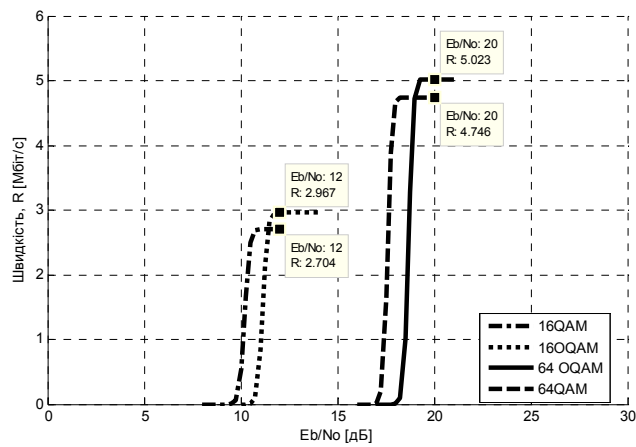


Рис. 6. Залежність швидкості передавання від співвідношення «сигнал/шум» при застосуванні традиційної QAM і OQAM (сусідні криві спроектовані для кращої інформативності, насправді вони накладаються)

## 5. ВИСНОВКИ

Квадратурно-амплітудна модуляція із зсувом має кращі показники енергетичної та спектральної ефективностей в порівнянні з традиційною QAM, що призводить до виграшу в співвідношенні “сигнал/шум”.

Результати моделювання показують, що використання OQAM модуляції:

- дозволяє **зменшити** співвідношення “сигнал/шум” на 12% при забезпеченні такого ж значення коефіцієнта появи бітових помилок;
- при такому ж значенні “сигнал/шум” дозволяє **підвищити** швидкість передавання на 5-10%.

Впровадження OQAM модуляції є перспективним напрямком розвитку сучасних безпроводних мереж UMTS/HSOPA в процесі їх довготривалого розвитку Long Term Evolution(LTE).

*1. 3GPP TR 25.814 Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access, Release 7, V7.1.0, 2006. 2. 3GPP TR 25.813 Evolved Universal Terrestrial Radio Access and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), Release 7, V7.1.0, 2006. 3. 3GPP TR 25.913 Requirements for Evolved UTRA and Evolved UTRAN, Release 7, V7.3.0, 2006. 4. B. le Floch, M. Alard and C. Berrou, "Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex" Proceedings of the IEEE, vol. 83, pp. 982-996, June 1995. 5. John J. Benedetto, Christopher Heil, and David F. Walnut. "Differentiation and the Balian–Low Theorem". Journal of Fourier Analysis and Applications Volume 1, Number 4: 355–402.,1994. 6. 3GPP TR 25.892 Feasibility Study for OFDM for UTRAN enhancement, Release 6, V2.0.0, 2004.*