

УДК 621.376

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ FBMC, UFMC ТА F-OFDM

Сало С.С., Доля В.В.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Горелов Д.Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки,

каф. МІРЕС, м. Харків, Україна

тел. +38 (057) 70-21-587, email: serhii.salo@nure.ua

The results of a comparative analysis of FBMC, UFMC, F-OFDM technologies, which proposed for the fifth generation 5G systems, are presented.

Найбільш поширена наразі технологія OFDM має ряд недоліків, що ускладнюють її застосування в системах 5G: втрата спектральної ефективності, спричинена високим рівнем бічних складових; високі вимоги до синхронізації у системі. Якщо в LTE при роботі зі смугою 20 МГц, використовуються 100 ресурсних блоків по 12 підносійних в кожному, то при їх рознесенні 15 кГц ефективна смуга частот складатиме лише 18 МГц. У часовому домені системи LTE довжина циклічного префікса, що розділяє символи OFDM, становить 114 або 160 елементів у кожному кадрі. Це знижує швидкість інформаційного потоку 7 %. Таким чином, загальні втрати становлять 17 %.

Розвитком методу ортогонального мультиплексування з частотним поділом каналів (OFDM) став метод F-OFDM (Filtered Orthogonal Division Multiplexing). В основі цього методу лежить вимога збереження ортогональності між підносійними, що згруповані в деякій смузі частот. Це дозволяє застосовувати загальну фільтрацію всіх підносійних сформованої підсмуги. Завдяки цьому зменшується довжина захисних інтервалів, що підвищує спектральну ефективність системи.

Приклади енергетичних спектрів для класичної OFDM та фільтрованої F-OFDM наведені на рис. 1, а) та рис. 1, б) відповідно. Як можна бачити, використання F-OFDM забезпечує значне зниження рівня коливань спектральної щільності потужності сигналу в робочій смузі частот та суттєве послаблення бічних випромінювань. Це свідчить про високу енергетичну ефективність технології F-OFDM.

Варіантом удосконалення технології OFDM є FBMC (Filter Bank Multi Carrier), коли кожна підносійна фільтрується окремо. Це знижує рівень позасмугових випромінювань та збільшує стійкість до інтерференції між підносійними. Така технологія має більш високу спектральну ефективність у порівнянні з OFDM (рис. 1, в), але необхідність фільтрації кожної підносійної для всієї виділеної смуги частот збільшує час затримки на обробку прийнятого сигналу.

Технологія UFMC є результатом поєднання технологій OFDM та FBMC. Якщо в технології OFDM фільтрується виділена смуга частот, а FBMC – кожна підносійна, то в технології UFMC – групи під смуг, що мі-

стять групи підносійних. Загальна кількість підносійних  $N$  ділиться на підсмуги, кожна з яких включає фіксовану кількість підносійних. Деякі з них не використовуються (як і в OFDM). Кожна з підносійних з підсмуги фільтрується, а відгуки на виході фільтра, виділеного підсмузі, сумуються. Це значно знижує ширину займаного спектру сигналу (рис. 1, г).

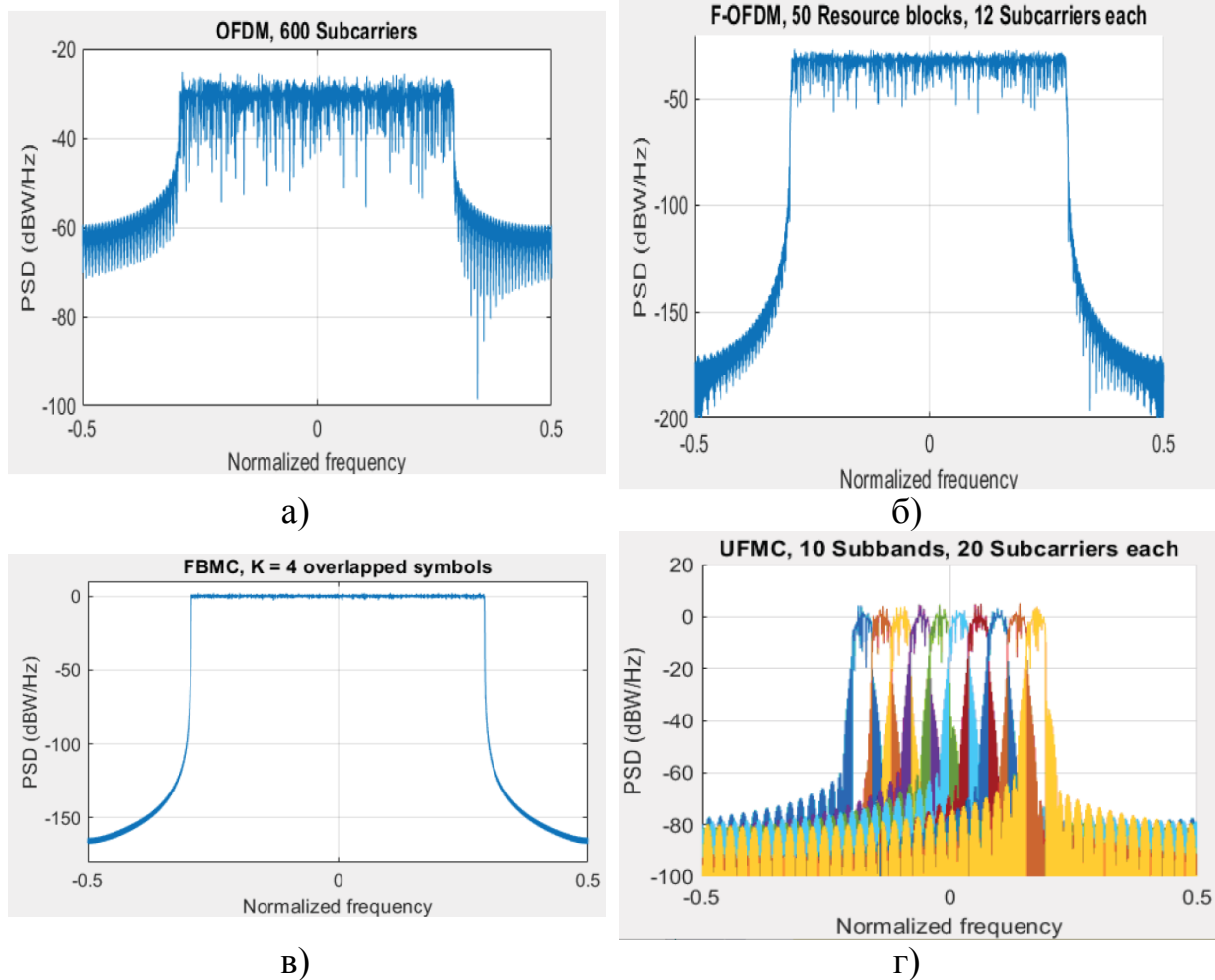


Рисунок 1

За однакової ширини смуги частот для FBMC та UFMC кількість операцій перетворення Фур'є для FBMC буде вдвічі перевищувати кількість для технології UFMC, що зменшить на порядок довжину фільтра.

На рис. 2 наведено сигнальні сузір'я для розглянутих технологій радіодоступу при використанні квадратурної модуляції (QAM) та відношенням сигнал/шум 15 дБ. Зменшення відношення сигнал/шум до значення  $SNR=5$  дБ показує, що на сигнальному сузір'ї (рис. 3) при використанні UFMC вплив шуму максимально низький.

Отже, використання технологій FBMC та UFMC у мережах 5G дозволить підвищити спектральну ефективність у порівнянні з мережами, що використовують технологію OFDM.

При деякому ускладненні технології обробки сигналу UFMC можна помітно підвищити швидкість передачі даних скороченням довжини цик-

лічного префікса. Це призведе до втрати ортогональності між підсмугами, зберігши ортогональність усередині кожної з них. Компактність спектра в UFMC свідчить про істотне зниження позасмугових випромінювань, тому зниження взаємної ортогональності підсмуг мало позначиться на ймовірності правильного прийому.

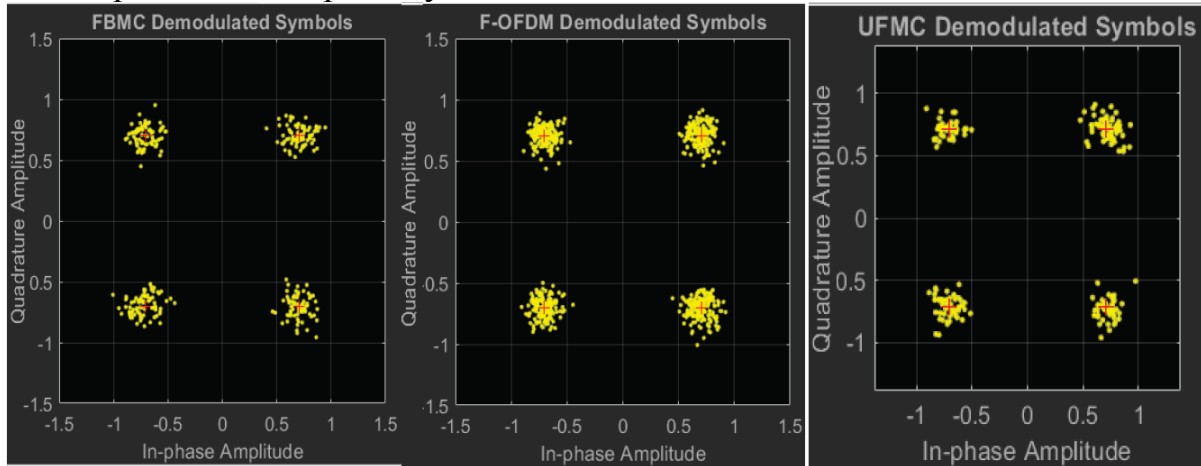


Рисунок 2

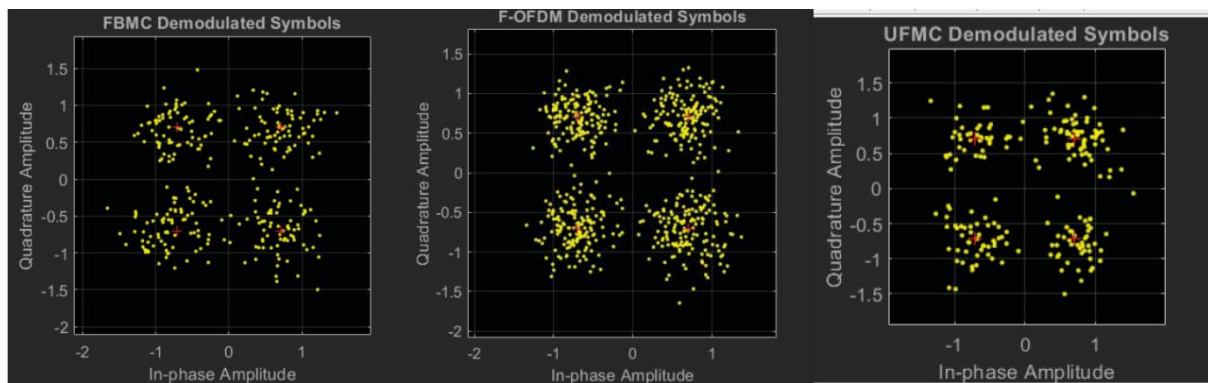


Рисунок 3

Перелік джерел посилання.

1. Schellmann M. et al. FBMC-based air interface for 5G mobile: Challenges and proposed solutions // Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM), 2014 9th International Conference on. – IEEE, 2014. – С. 102–107.

2. Wild, T., Schaich, F., Chen Y., "5G air interface design based on Universal Filtered (UF-)OFDM", Proc. of 19th International Conf. on Digital Signal Processing, pp. 699-704, 2014.