

Increasing the spectral efficiency of OFDM signal

Taras Maksymyuk, Stepan Dumych

Department of Telecommunications, Lviv Polytechnic National University, UKRAINE, Lviv, Profesorska street 2,
E-mail: taras_maks@ukr.net

In recent decades, wireless communication systems are characterized by intensive development. Therefore, the operation principle survey of modern wireless systems, including next-generation systems, is topical. The main focus of the research aimed at improving the efficiency of radio interface of wireless systems is OFDM technology. It involves the formation of multifrequency signals, which consists of a number of orthogonal subcarrier frequencies.

A classic version of the system OFDM / QAM, which involves the use of guard interval to eliminate the influence of intersymbol interference, is considered. The disadvantage of this option is the loss of spectral efficiency due to the presence of additional space. The work analyzes the possibility of systems without guard intervals, if using a prototype with better energy localization in comparison with rectangular pulses used in OFDM / QAM. Better energy localization significantly reduces the risk of intersymbol interference and allows to dispense with the use of protective time interval.

However, there is an incompatibility problem of the orthogonal basis and "compact" prototype, according to the proved limits of Balliana-Lo theorem.

This problem is solved with a shear in QAM modulation. This method of modulation is called square-amplitude modulation with a shear (Offset QAM). The application of "compact" prototypes can dispense with the use of protective time intervals after each OFDM symbol. Accordingly, this benefits in spectral efficiency compared to OFDM / QAM with guard interval.

The research of signal localization possibilities is a promising direction of system development within the concept of LTE.

Переклад зроблено Горьковою Н.Г., центр іноземних мов «Universal Talk», www.utalk.com.ua

Підвищення спектральної ефективності OFDM сигналу

Тарас Максимюк, Степан Думич

Кафедра телекомунікацій, Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА,
м.Львів, вул.Професорська, 2,
E-mail: taras_maks@ukr.net

В цій роботі ми пропонуємо порівняльний аналіз найсучасніших розробок пов'язаних із ортогональним частотним мультиплексуванням. Дві основні категорії: OFDM/QAM яка полягає у використанні вузькосмугової квадратурно-амплітудної модуляції та прототипу імпульсу прямокутної форми, та OFDM/OQAM яка використовує квадратурно-амплітудну модуляцію із зсувом та прототипи імпульсу різноманітної форми. OFDM/QAM може забезпечувати високошвидкісний зв'язок та ефективно усувати вплив міжсимвольної інтерференції за рахунок захисного інтервалу, який спричиняє втрати спектральної ефективності і підвищення споживаної потужності. Для досягнення кращої спектральної ефективності, OFDM/OQAM використовує добре сплановані прототипи імпульсу з добрими властивостями частотно-часової локалізації, що представляє значний інтерес.

Вступ

Протягом останніх десятиріч системи безпроводного зв'язку характеризуються інтенсивним розвитком. Тому актуальним є дослідження принципів побудови та функціонування сучасних безпроводних систем, в тому числі систем наступного покоління. Сьогодні робота над розробкою концепції систем радіозв'язку наступних поколінь ведеться під загальноприйнятим терміном LTE (Long Term Evolution).

Системи LTE передбачають використання радіоінтерфейсу HSOPA (High Speed OFDM Packet Access), що базується на технології OFDM.

Принцип технології OFDM

Технологія ортогонального частотного мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) передбачає формування багаточастотного сигналу, який складається з певної кількості піднесучих частот, які відрізняються на величину, вибрану з умови ортогональності сигналів на сусідніх піднесучих коливаннях.

Метою такого перетворення є усунення впливу багатопробеневого розповсюдження радіохвиль та впливу міжсимвольної інтерференції, за рахунок захисного часового інтервалу. Захисний інтервал тривалістю 0.2 від тривалості символу суттєво погіршує спектральну ефективність, яка для OFDM/QAM системи становить:

$$h = (1 - \frac{T_g}{T_s}) \log_2 M, \frac{\delta_{im}/c}{\Gamma_{\zeta}}, \quad (1)$$

де T_g – тривалість захисного інтервалу, T_s – тривалість OFDM символу, M – кількість позицій для M-QAM модуляції.

В роботі проаналізовано можливість реалізації системи без захисних інтервалів, якщо використати прототип з кращою локалізацією енергії, у порівнянні із прямокутним імпульсом, що використовується в OFDM/QAM. Локалізація сигналу – частотно-часовий параметр який визначає тривалість передаваного символу, та його ширину спектру. Чим краща локалізація, тим ефективніший розподіл корисної енергії, і менша ймовірність виникнення міжсимвольної інтерференції.

Умова ідеальної локалізації записується наступним чином [1]:

$$\frac{t_0}{\Delta t} = \frac{n_0}{\Delta n} \quad (2)$$

де t_0, v_0 – часова і частотна локалізація відповідно, а $\Delta t, \Delta v$ – часова і частотна дисперсія каналу зв'язку. На рис.1 показано ідеальну локалізацію та частотно-часову дисперсію безпровідного каналу. Як видно з рисунку, умови в каналі не дозволяють передавати енергію без втрат, тому виникає необхідність пошуку прототипів, які б забезпечили оптимальну локалізацію.

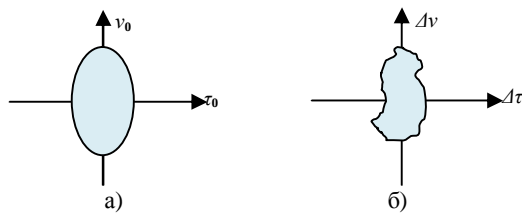


Рис.1 Локалізація сигналу(а) та частотно-часова дисперсія безпровідного каналу зв'язку (б)

Властивості локалізації вузькосмугових сигналів в глобальному контексті підкоряються обмеженням теореми Балліана-Лоу [2]. Згідно з властивістю некомутативності частотно-часової площини, неможливо незалежно маніпулювати тривалістю і шириною спектру сигналу, для досягнення найкращої локалізації, оскільки:

$$t_0 \cdot n_0 < 1 \quad (3)$$

Оскільки при використанні модуляції OFDM/QAM, умова (3) не виконується:

$$t_0 \cdot n_0 = 1, \quad (4)$$

застосування добре локалізованих прототипів (функція “півкосинус”, функція Гауса, або ІЮТА-функція) є неможливим.

Одним з варіантів вирішення даної проблеми є застосування квадратурно амплітудної модуляції із зсувом – Offset QAM (OQAM) [3]. За рахунок ущільнення сигналу за часом OQAM значно розширює можливості локалізації сигналу.

При формуванні сигналу OFDM/OQAM символи QAM (c_{mn}) розділяються на дві 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.

Тобто кількість переданої інформації не змінюється, а просто ділиться на дві частини протягом того ж інтервалу часу.

$$T_s = 1/2\Delta f \quad (5)$$

В цьому випадку умова (3) виконується:

$$t_0 \cdot n_0 = 0.5, \quad (6)$$

і застосування прототипів з кращою локалізацією стає можливим. Це дозволяє не використовувати захисні інтервали, і відповідно отримати вигоду в спектральній ефективності (рис.2).

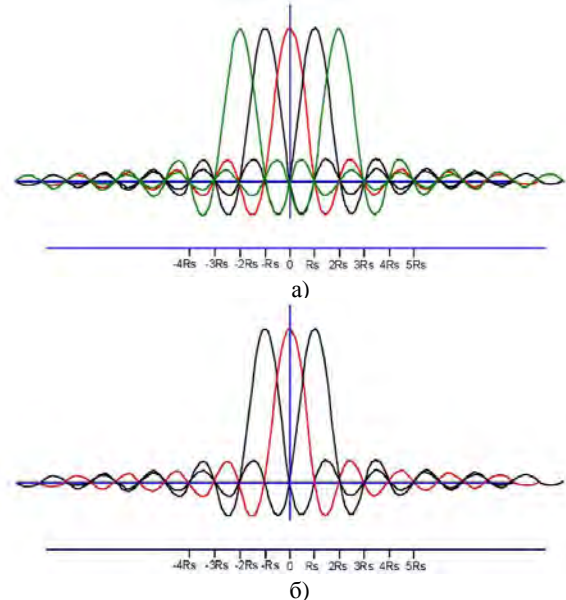


Рис.2 Спектр сигналу OFDM із захисним інтервалом - (а) та без нього - (б)

ВИСНОВОК

Проведений порівняльний аналіз показує, що застосування прототипів з хорошою частотно-часовою локалізацією дозволяє обійтись без використання захисних часових інтервалів після кожного OFDM символу. Відповідно отримаємо вигоду в спектральній ефективності OFDM/OQAM системи, у порівнянні із OFDM/QAM з використанням захисного інтервалу.

Дослідження варіантів локалізації вузькосмугових прототипів може стати перспективним напрямком розвитку сучасних безпровідних систем в рамках концепції Long Term Evolution.

Література

- [1] Strohmer T., Beaver S. Optimal OFDM Design for Time-Frequency Dispersive Channels. /T. Strohmer, S. Beaver // IEEE Transactions on Communications, Jul. 2003 – vol. 51 – pp. 1111-1123.
- [2] Benedetto J., Heil C., Walnut D. Differentiation and the Balian-Low Theorem. // Journal of Fourier Analysis and Applications, 1994. – vol. 1, № 4 – pp. 355-402.
- [3] 3GPP TR 25.892 Feasibility Study for OFDM for UTRAN enhancement // Release 6, 2004 – V2.0.0.