

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ОРТОГОНАЛЬНОГО ЧАСТОТНОГО МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ

Примаченко В.І.

Державний університет телекомунікацій, Україна

E-mail: vladuserzvir@ukr.net

Software implementation method of orthogonal frequency division multiplexing

In the work shows the software implementation of the method of orthogonal frequency multiplexing. It was determined that the high-speed transmission of data bandwidth signals associated with problems for the recipient, through the formation of additional channels caused by intersymbol interferences (intersymbol interference). To effectively eliminate intersymbol interference and reduce complexity equalizer technology is OFDM. The algorithm operations OFDM-modulation.

Нові покоління технологій радіодоступу впроваджуються з інтервалом приблизно десять років, щоб впоратися з ростом мобільного Інтернет-трафіка. Це дозволяє в повній мірі скористатися еволюцією технологічні компоненти без яких-небудь застарілого тягаря.

В 2010 р. завершено розробку специфікацій технології Long Term Evolution - Advanced (LTE-A), яка відноситься до 4-го покоління (4G) технологій мобільного зв'язку. Технології радіодоступу 5-го покоління (5G), як очікується, стануть доступні для комерційного запуску близько 2020 р. [1]. Їх розвиток триватиме до 2030 р., після чого ми зможемо отримати потенційний досвід користування технологіями 6-го покоління (6G).

Варто відзначити, що базовою технологією модуляції так і залишається технологія OFDM. Після перетворення паралельного коду в послідовний часовий інтервал OFDM-сигналу має форму

Символ OFDM може бути описаний як результат багатьох добутків модульованих субканалів в певному частотному діапазоні помножених на прямокутне вікно певної довжини. Для повного розуміння внутрішніх OFDM-процесів треба дослідити часову і частотну області.

Вираження в часовій області для OFDM-символа є добутком прямокутної віконної функції $\omega(t)$ і субканалів задається формулою [2]

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [AS_c(t, f_c)]\omega(t) \quad (1)$$

де A - амплітуда несучої частоти субканалу; S_c - сигнал модульованого субканалу; f_c - несуча частота субканалу.

Спектр OFDM-символа в частотній області є результатом перетворення Фур'є:

$$S_c(f) = \int_{-\infty}^{\infty} S_c(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

При поданні OFDM-символа в частотній області позиції піднесучих частот, і прямокутна віконна функція є ключовими змінними, від яких залежить ортогональність сигналу. Перетворення Фур'є в часовій області перетворить OFDM-символ модульовані піднесучі, тоді як прямокутна віконна функція перетворюється на sinc-функцію.

Множення модульованих піднесучих з прямокутним вікном в часовій області призводить до згортки імпульсів з sinc-функцією в частотній області. Кінцевим результатом згортки є sinc-функції, поміщені в усі позиції імпульсів.

Амплітудний спектр OFDM-символа обчислюється як

$$|S_c(f)| = \left| \sum_{n=0}^{N-1} [A S_c(f + f_c)] A_{\omega} t_{\omega} \text{sinc}(f t_{\omega}) \right| \quad (3)$$

де A_{ω} - амплітуда віконної функції; t_{ω} - час віконної функції.

Подання формули амплітудного спектру OFDM-символа може бути спрощене

$$|S_c(f)| = \left| \sum_{n=0}^{N-1} A A_{\omega} t_{\omega} \text{sinc}(t_{\omega}(f + f_c)) \right| \quad (4)$$

Рівняння (4) може бути описане як підсумовування sinc-форм сигналу в первинних імпульсних позиціях.

Детальний аналіз sinc-функції показує [2], що вона містить періодичні нулі, які є функцією довжини вікна і можуть бути визначені як

$$\text{sinc}(f_s t_{\omega}) = \begin{cases} 0; & \text{де } f_s = \frac{n}{t_{\omega}}; m \in [1, 2, \dots, \infty] \\ 1; & \text{де } f_s = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Оскільки усі модульовані субканальні імпульси є результатом використання прямокутної віконної функції, то і sinc-форма сигналу для кожного субканалу відповідатиме їй. При виборі частоти субканальних імпульсів необхідно дотримуватися відповідності періодичних нулів sinc-функції субканальним імпульсам, що гарантує незмінність інформації про субканали. OFDM-субканали тому і являються ортогональними один одному для кожного субканалу.

Виходячи з вищесказаного на рис. 1 представлено алгоритм виконання операцій OFDM-модуляції. Перший блок в алгоритмі відповідає за введення вхідних даних та визначення характеристик операндів які будуть використовуватись в подальших розрахунках.

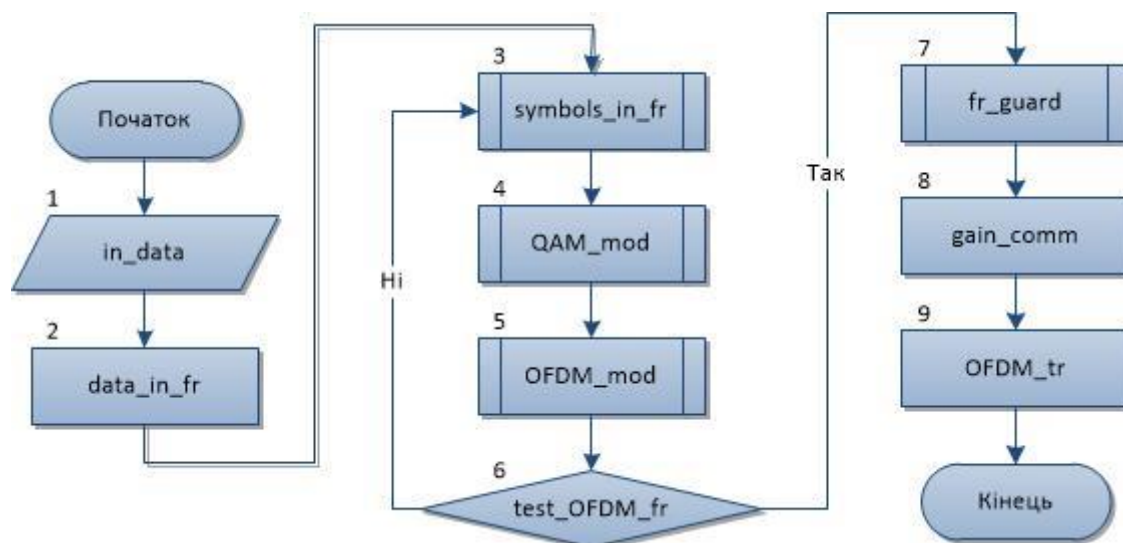


Рис. 1. Алгоритм виконання операцій OFDM-модуляції.

В наступному блоці виконуються операції формування потоку даних в кадри. Блок номер 3 визначає кількість символів на кадр. В блоках 4 та 5 виконуються операції QAM-модуляції (або іншого виду модуляції в залежності з потребою) та OFDM-модуляція за допомогою ОШПФ. Перевірка сформованості OFDM-кадру виконується в 6 циклічному блоці. Наступний блок призначений для визначення, формування та додавання до OFDM-кадру захисного інтервалу. Операція підсилення амплітудного значення кадру відповідно до рівня каналу зв'язку виконується в 8 блоці. Останній блок виконує функцію попередньої підготовки до формування вихідного сигналу, можливість виведення даних і підключення ЦАП.

В статті виконано опис роботи розробленого алгоритму виконання операцій OFDM-модуляції. Перевагою даного алгоритму є можливість його реалізації в програмно-конфігурованому радіо.

Література

1. Mogensen Preben, Pajukoski Kari, Tiirola E. 5G small cell optimized radio design [Електронний ресурс] Preben Mogensen, Kari Pajukoski, E. Tiirola // – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/269304509_5G_small_cell_optimized_radio_design
2. John G. Proakis, Masoud Salehi “Communications Systems Engineering / John G. Proakis. - London: Pearson Education, 2002. - 801 p.
3. Munier Florent, Eriksson Thomas, Svensson Arne Receiver algorithms for OFDM systems in phase noise and AWGN [Електронний ресурс] Florent Munier, Thomas Eriksson, Arne Svensson // – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/2906843_Receiver_algorithms_for_OFDM_systems_in_phase_noise_and_AWGN