ВЛАСТИВОСТІ ЧАСТОТНО-ЧАСОВОЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ БАЗИСНИХ ФУНКЦІЙ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В OFTDM-СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

К. т. н. О. Б. Коханов, к. т. н. А. Р. Агаджанян, П. Майнов

Одеський національний політехнічний університет
Україна, м. Одеса
7985798@gmail.com

Роботу присвячено дослідженню властивостей частотно-часової локалізації базисних функцій в OFTDM-системах зв'язку для пошуку добре локалізованих в частотній і часовій областях, з хорошим придушенням міжсимвольної і міжканальної інтерференцій. Виявлено, що використання базисних функцій з різними властивостями частотно-часової локалізації призводить до більш природного динамічного розподілу спектра, і можна очікувати більш високу надійність і спектральну ефективність системи зв'язку при меншій чутливості до часового і частотного зсуву за рахунок спрощення синхронізації.

Ключові слова: системи зв'язку, частотно-часова локалізація, OFTDM-система, міжсимвольна інтерференція, міжканальна інтерференція.

За використання формуючих імпульсів в OFTDM (orthogonal frequency-time division multiplexing — ортогональне частотно-часове ущільнення) системах [1] можна досягти зниження міжсимвольної і міжканальної інтерференцій [2] без додавання циклічного префіксу в порівнянні з класичними OFDM-системами.

Раніше були запропоновані різні базисні функції з хорошими властивостями частотно-часової локалізації [2, 3], а також розглянута реалізація, заснована на різних банках фільтрів. На відміну від класичної OFDM-схеми, в якій кожна піднесуча модулюється комплекснозначним символом, в OFTDM кожна піднесуча модулюється дійсним символом і, отже, допускається застосування частотно-часових добре локалізованих формуючих імпульсів за більш високих системних вимог до частотно-часової локалізації [4]. Це робить можливим дуже ефективну упаковку символів, збільшуючи до максимуму, наприклад, пропускну здатність або стійкість лінії зв'язку. OFTDM була введена в технічних стандартах цифрового радіозв'язку, і розглядалося її застосування в стандарті WRAN (IEEE 802.22).

Метою даної роботи є зменшення числа математичних операцій (обчислювальної складності та часу, потрібного на обчислення) при формуванні OFTDM-сигналу, використання тільки дійсної арифметики замість комплексної за рахунок використання дискретного перетворення Хартлі (ДПХ) замість дискретного перетворення Фур'є (ДПФ).

Використання зворотнього ДПФ вимагає застосування комплексної арифметики для обчислення канальних сигналів $F(k)$, де k — номер частотного каналу. Отже, блок обчислення зворотнього ДПФ є єдиним пристроєм в тракті передачі, де використовується комплексна арифметика. Те ж саме стосується і приймального тракту, де виконується процес демодуляції (демультиплексування) за допомогою прямого ДПФ. Це ускладнює пристрої модуляції і демодуляції, а також формує значну тимчасову групову затримку, яка виникає через час обробки комплексних чисел [1]. Здійснення OFTDM-модуляції з використанням ДПХ значно спрощує обчислювальну складність отримання OFTDM-сигналу в порівнянні з алгоритмом на основі швидкого перетворення Фур'є [1]. Крім того, при застосуванні для OFTDM-модуляції ДПХ буде використовуватися тільки дійсна арифметика, що дозволить обійтися одним ядром DSP-процесора [1].

У роботі також розглянуто кілька різних типів формуючих імпульсів з подальшим використанням параметра Гейзенберга ξ як індикатора властивостей частотно-часової локалізації [5]. Особли-

вим випадком розширеної функції Гаусса є функція ізотропного ортогонального алгоритму передачі (isotropic orthogonal transfer algorithm, IOTA), яка є інваріантною до перетворення Фур'є.

Щоб проілюструвати, як базисна функція змінюється залежно від часового і частотного поширення, було побудовано функцію невизначеності сигналу на виході однієї гілки демодуляції з використанням базисної функції IOTA. Виявилось, що значення функції IOTA дорівнює 0 на межі імпульсів, тому на сусідні імпульси не будуть впливати перешкоди до тих пір, поки нормоване часове або частотне розсіювання буде менше певного значення. З метою порівняння властивостей локалізації різних імпульсів і отримання кількісного уявлення про це, для кожного імпульсу було обчислено параметр Гейзенберга ξ і параметр напрямку k. Було визначено, що імпульс Гаусса досягає максимального значення ξ і, отже, має найкращі властивості частотно-часової локалізації.

Властивості частотно-часової локалізації, які описуються параметром Гейзенберга, функцією невизначеності, а також функцією перешкод і миттєвою функцією кореляції дозволяють описати, яким чином сигнали на різних несучих частотах і з різними символами взаємодіють один з одним. Оскільки переданий сигнал, що складається з базисних функцій, містить копію базисної функції в кожній точці просторової решітки на частотно-часовій площині, то чим менша потужність базисної функції буде поширюватися на сусідню область просторової решітки, тим краща реконструкція переданого сигналу може бути отримана після демодуляції.

За рахунок використання різних базисних функцій з різними властивостями частотно-часової локалізації динамічний розподіл спектра може бути досягнутий більш природним чином, оскільки передавач і приймач швидко пристосовуються до різних умов каналу і середовища перешкод. Таким чином, можна очікувати більш високу надійність і спектральну ефективність системи зв'язку. Також за спрощенною синхронізацією можна очікувати меншу чутливість до часового і частотного зсуву.

OFTDM-системи знайшли своє широке використання в сучасних системах цифрового радіозв’язку, таких як цифрове телебачення з високою розподільною здатністю, системах Wi-Fi, Wi-Max, цифрових широкосмугових лініях абонентського доступу xDSL (digital subscriber line) і пропонуються для використання в системах 5G, система цифрового телебачення DVB-T2.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Kokhanov A.B., Zakharov V.V. Implementation of OFDM modulation by using real arithmetic // Radioelectronics and Communications Systems.– 2013. –Vol. 56, iss. 12.– P.568–577.

2. Максимюк Т.А. Метод синтезу OFDM сигналу з оптимальною частотно-часовою локалізацією // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації.– 2012.– № 738.– С. 198–205.

3. Жиляков Е.Г., Белов С. П., Маматов Е.М., Ушаков Д.И., Старовойт И.А. О возможности повышения эффективности использования выделенного частотного ресурса в системах с OFDM // Информационные системы и технологии.– № 1(63).– 2011.– С. 39–45.

4. Агаджанян А.Р., Філіпський Ю.К. Переваги обробки нестаціонарних сигналів частотно-часовими методами // Праці ОПУ.– 2011.– № 1(35).– С. 125–129.

5. Филипский Ю. К., Фонарь Л. С., Брянский А. Э. Численные методы определения отклика динамических систем // Вост.-Европ. журн. передовых технологий.– Вып. 4/4 (64).– 2013.– С. 16–18.

O. B. Kokhanov, A. R. Agadzhanyan, P. Maynov

Properties of frequency-time localization of basic functions used in OFTDM communication systems

The paper is devoted to the study of the properties of the frequency-time localization of basic functions in OFTDM communication systems for finding well-suppressed inter-symbol and inter-channel interferences, well-localized in frequency and time-domain areas. It was found that the use of basic functions with different properties of frequency-time localization leads to a more natural dynamic distribution of the spectrum, and thus one can expect higher reliability and spectral efficiency of the communication system with less sensitivity to time and frequency shift due to simplification of the synchronization.

Keywords: communication systems, frequency-time localization, OFTDM system, expanded Gaussian function, inter-symbol interference, inter-channel interference.