

КОРИГУВАННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ЗАВАД В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ З ОРТОГОНАЛЬНИМ ЧАСТОТНИМ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено можливості зниження вимог до завадостійкості сигналу і до частотної неузгодженості при використанні віконних функцій на приймальній стороні з додатковими параметрами з керування формою віконної функції за рахунок компенсації міжканальної інтерференції. При використанні віконних функцій на передавальній стороні можливе зниження рівня інтерференції по сусідньому каналу або зниження рівня позасмугового випромінювання, що на практиці може призвести до більш щільного частотного розміщення різних радіослужб і підвищенню швидкості спаду спектральних складових, збільшення символної швидкості передачі даних та підвищення коефіцієнта спектральної ефективності.

Ключові слова: ортогональне частотне мультиплексування, міжканальна інтерференція, міжсимвольна інтерференція.

Abstract

The possibilities of reducing the requirements to the noise immunity of the signal and to the frequency inconsistency when using the window functions on the receiving side with additional parameters for controlling the shape of the window function due to the compensation of inter-channel interference is investigated. When using window functions on the transmitting side, it is possible to reduce the level of interference on the adjacent channel or reduce the level of out-of-band radiation, which in practice can lead to a more dense frequency allocation of different radio services and increase the rate of decline of spectral components, increase the symbolic data rate and increase the spectral efficiency.

Keywords: orthogonal frequency division multiplexing, inter-channel interference, interfacing interference.

Вступ

В даний час в усьому світі йдуть активні роботи по впровадженню та розширенню областей застосування систем бездротової передачі даних, радіозв'язку, радіомовлення і телебачення, які використовують технологію ортогонального частотного мультиплексування (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). Використання даної технології дозволяє ефективно використовувати відведену смугу частот і боротися із завадами, що виникають при передачі корисної інформації по радіоканалу при збереженні високих швидкостей передачі. До сфер застосування даної технології можна віднести: бездротові канали зв'язку в яких технологія OFDM використовується в наступних стандартах цифрового наземного телерадіомовлення: DVB-T, DVB-T2, DVB-H, DVB-SH, DVB-T2lite, T-DMB, ISDB-T, MediaFLO, Eureka-147, DAB, DAB+, DRM, DRM+, вітчизняній системі PAVIC; проводні канали зв'язку для стандарту кабельного цифрового телевізійного мовлення DVB-C2 і передачі даних ADSL і VDSL, а також для передачі даних по лініях електропередач на основі стандарту PLC. Активно OFDM використовується в стандартах передачі даних IEEE 802.11a / g / n / ac, IEEE 802.16d / e, IEEE 802.16m, LTE і LTE-A і мережах покоління 5G. Ще одним з перспективних і цікавих застосувань OFDM є її використання в надширокосмугових мережах передачі даних на основі стандарту IEEE 802.15.3a (Ultra-Wideband Technology, UWB) та наступних розробок. Активно OFDM починає впроваджуватися в супутникових та радіорелейних системах зв'язку.

Метою роботи є підвищення спектральної ефективності і зниження міжканальної інтерференції бездротових систем зв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням за рахунок використання віконних функцій на приймальній і передавальній стороні.

Аналіз методів компенсації інтерференції по сусідньому каналу, спаду позасмугового випромінювання і підвищення ефективності використання спектра частот

В передавальній частині ЦСП на основі OFDM істотними проблемами є повільне згасання бічних спектральних складових, що призводить до інтерференції по сусідньому каналу (Adjacent Channel Interference, ACI) і появи перехідних процесів, які виникають в момент формування захисного інтервалу. Одним з ефективних рішень, цих проблем, є використання в блоці передавача віконних функцій для обробки захисних інтервалів різної тривалості, що дозволяють одночасно ефективно компенсувати ці ефекти і при цьому не збільшувати обчислювальну складність системи в цілому.

При прийомі сигналів OFDM, проблемою є порушення частотної синхронізації через вплив різного роду перешкод, яка призводить до появи міжсимвольної (МСІ) і міжканальної інтерференції (МКІ), порушення ортогональності підносійних та втрати зв'язку. Компенсацію МКІ можна забезпечити за допомогою використання віконних функцій. Для реалізації даного підходу необхідно на приймальній стороні використати цифровий фільтр на вході приймача взамін захисного. При цьому можливо підвищити стійкість сигналу або знизити вимоги до частотної неузгодженості в системі.

Вирішення цих завдань в комплексі дозволить створити основу для практичної реалізації даних методів, як на приймальній, так і на передавальній стороні, при цьому при впровадженні даних технічних рішень не знадобиться змінювати докорінно роботу вже існуючих і діючих систем і стандартів. Отже, рішення задачі підвищення ефективності систем зв'язку з ортогональним частотним мультимплексуванням є актуальним як в науковому, так і в практичному відношенні.

При вирішенні зазначених проблем в рамках дослідження використовувалися праці вітчизняних і зарубіжних вчених. Великий внесок у розвиток ідей цього напрямку досліджень надали вітчизняні вчені: В.А. Котельников, В.І. Тихонов, І.В. Шахновіч, А.В. Білоус, Д.Д. Кловський, В.Г. Карташевський, А.І. Тяжев, Б.І. Миколаїв, В.В. Шахгільдян, Ю.Б. Зубарев, В.Л. Карякін, Е.Н. Маслов, Д.І. Ушаков, О.В. Самоходкін, В.П. Федосов, Ф. М. Ігнатов та ін. Серед зарубіжних вчених можна виділити основні праці Т.М. Schmidl, D.C. Cox, H. Minn, B.Park, K. Shi, E. Serpedin, A.B. Awoseyila, P.H. Moose, M. Morelli, Z. Zhang, G. Ren, HD Joshi, V. Fischer, A. Kurpiers, D. Karsunke, J. Du, S. Signell, DK Sharma, A. Mishra, R. Saxena, NC Beaulieu, P. Tan, S. Mohanty, NM Moghaddam, M. Mohebbi, P Sutton, SD Assimonis, M. Sharique і ін. [1-10]

Таким чином, системи OFDM є перспективною технологією та характеризуються рядом переваг в порівнянні з системами передачі на одній несучій і багатьох несучих, що дозволяє домогтися вирішення багатьох інфокомунікаційних проблем, однак, при цьому, існують деякі проблеми як на приймальній, так і на передавальній стороні, які можуть вплинути на продуктивність системи OFDM. В основі технології OFDM лежить спектральний (гармонійний) Фур'є-аналіз групового широкосмугового сигналу. Особливість технології поділу відліків каналних сигналів пов'язано з обчисленням коефіцієнтів ряду Фур'є (розкладанням сигналу групового тракту в ряд Фур'є). Поряд з великими перевагами даної технології тут є недоліки, обумовлені не зовсім «коректною» реалізацією обчислень коефіцієнтів розкладання аперіодичної (а в реальності випадкової) функції в ряд Фур'є на обмеженому (кінцевому) часовому інтервалі. Така реалізація каналного поділу може призвести до порушення ортогональності каналних сигналів, що призводить до помилок детектування через міжсимвольну і міжканальну інтерференцію. Для усунення «методичних помилок» (корекції спектральних характеристик) застосовують віконні перетворення Фур'є. Дана проблема ще більше ускладнюється через наявність різного роду деструктивних «внутрішніх» і «зовнішніх» каналних збурень, спотворень і т.п. Тому завдання розробки ефективних методів обробки, прийому і передачі сигналів для систем з OFDM є актуальною науково-технічною задачею. Тому, що використанні в OFDM ортогональні піднесучі з прямокутною формою модулюючого імпульсу або «піднесеного косинуса», не дозволяють боротися в достатній мірі з наведеними вище ефектами.

В даний час в сучасних стандартах телерадіомовлення використовують збільшені розмірності ШПФ від 1К аж до 32К, домагаючись максимізації коефіцієнта спектральної ефективності за рахунок ущільнення великої кількості піднесучих в обмеженій по смузі частот каналу зв'язку. Це дозволяє ефективно використовувати відведену смугу частот каналу за рахунок великої кількості піднесучих частот, що призводить до жорстких частотних обмежень на випромінювання в спектрі і за його межами, а також пред'явлення підвищених вимог до частотних викидів, які можуть додатково згенерувати МСІ, які захисні інтервали не зможуть компенсувати. При цьому використовуються такі

режими OFDM (розмірність ШПФ, тривалість захисного інтервалу, модуляція, швидкість завадостійкого коду), які дозволяють організувати мобільний режим прийому корисної інформації при великій швидкості руху абонента, що призводить до появи ефекту Доплера, генерації МКІ і викликає порушення частотної синхронізації.

Показано, що дані методи вже використовуються, однак при аналізі літератури виявлено, що при використанні віконних функцій на приймальній стороні з додатковими параметрами з керування формою віконної функції можливе зниження вимог до завадостійкості сигналу і частотної неузгодженості. При використанні віконних функцій на передавальній стороні можливе зниження рівня інтерференції по сусідньому каналу або зниження рівня позасмугового випромінювання, що на практиці може призвести до більш щільного частотного розміщення різних радіослужб і підвищенню швидкості спаду спектральних складових, і до збільшення символної швидкості передачі даних і підвищення коефіцієнта спектральної ефективності.

У приймачі і передавачі додатково вводяться блоки обробки цифрових даних на основі віконних функцій, що дозволяють зробити спектральний аналіз на обмеженому інтервалі часу, підвищити ефективність роботи і отримати технологічний запас на реалізацію більш складної системи в цілому. Тому, розробка методів компенсації міжканальної інтерференції і інтерференції по сусідньому каналу в бездротових системах зв'язку з OFDM є дуже важливим завданням, як в науковому плані, так і при реалізації практичних систем, тому дана робота, є актуальною.

Висновки

Проведено огляд технології ортогонального частотного мультиплексування. Показано, що одним з істотних недоліків в системах зв'язку, що викликають зниження продуктивності бездротових телекомунікаційних мереж, є міжканальна інтерференція у приймачі. Також в даних системах існує проблема появи високої позасмугової потужності, яка призводить до інтерференції по сусідньому каналу. Отже, необхідна розробка методів, що дозволять знизити вказані негативні ефекти.

Запропоновано рішення на основі методів обробки цифрових сигналів, що дозволяють компенсувати міжканальну інтерференцію на приймальній стороні і підвищити ефективність використання спектра на передавальній стороні на основі використання віконної обробки корисного сигналу і захисного інтервалу.

Зроблено детальний аналітичний і технічний аналіз літератури в області методів компенсації міжканальної інтерференції і методів компенсації інтерференції по сусідньому каналу, спаду позасмугового випромінювання і підвищення ефективності використання спектру частот.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Chang, Ming-Xian. On the Impact of Residual Inter-Subchannel Interference for the Single-Carrier Block Transmission / Ming-Xian Chang, Tzy-Yu Wu // Institute of Computer and Communication Engineering and Department of Electrical Engineering National Cheng-Kung University, Taiwan. – 2016. – P. 35-39.
2. Du, Jinfeng. Classic OFDM Systems and Pulse Shaping OFDM/OQAM Systems / Jinfeng Du, Svante Signell // Electronic, Computer, and Software Systems Information and Communication Technology. – 2017. – 40 p.
3. Kamal, Shaharyar. Nyquist-I pulses designed to suppress the effect of ICI power in OFDM systems / Shaharyar Kamal, Cesar Azurdia-Meza, Kyesan Lee // 11th IEEE International Wireless Communications & Mobile Computing Conference. – 2015. – P. 1412-1417.
4. Chang, Ming-Xian. On the Impact of Residual Inter-Subchannel Interference for the Single-Carrier Block Transmission / Ming-Xian Chang, Tzy-Yu Wu // Institute of Computer and Communication Engineering and Department of Electrical Engineering National Cheng-Kung University, Taiwan. – 2016. – P. 35-39.
5. Федосов, В.П. Исследование модели OFDM-сигнала с малым уровнем внеполосного излучения. / В.П. Федосов, Д.Г. Ковтун, А.А. Легин, А.В. Ломакина // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – С. 6-16.
6. Mohd Sharique, Transmitter Pulse Shaping to Reduce OOB Power and ICI in OFDM Systems. / Sharique Mohd, Ajit K. Chaturvedi // Wireless Personal Communications. – 2015. – V. 83, – № 2. – P. 1567–1578.

7. Мешкова, А.Г. Методы повышения спектральной эффективности систем OFDM в сетях цифрового телерадиовещания / А.Х. Султанов, И.К. Мешков, А.Г. Мешкова, В.В. Иванов // Инфокоммуникационные технологии, ПГУТИ. – 2017. – Т 15. – № 3. – С. 286-294.

8. Мешкова, А.Г. Метод компенсации межканальной интерференции для ортогонального частотного мультиплексирования / А.Х. Султанов, И.К. Мешков, А.Г. Мешкова, В.В. Иванов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Самарский университет. – 2017. –Т 69. –№ 3. – С. 17-21.

9. Мешкова, А.Г. Использование оконных функций для повышения эффективности функционирования технологии OFDM / И.К. Мешков, А.Г. Мешкова, В.В. Иванов // «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» – XVIII Международная научно-техническая конференция. – 2017. – С. 178-179.

10. Мешкова, А.Г. Метод снижения уровня межсимвольных искажений в OFDM / И.К. Мешков, А.Г. Мешкова, В.В. Иванов // «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» – XVIII Международная научно-техническая конференция. – 2017. – С. 237-239.

Васильківський Микола Володимирович – канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Яновська Ірина Вікторівна – студентка групи ТКТ-18мс, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Юхимець Олена Сергіївна — студентка групи ТКТ-15б, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Vasykivskiy Mikola V. – Ph.D., Senior lecturer of the Chair of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Yanovskaya Irina V. – Department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Yukhymets Elena S. — Department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.