

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАДШИРОКОСМУГОВИХ РАДІОСИСТЕМ ДОСТУПУ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Підвищено продуктивність над широкосмугових радіосистем доступу та вдосконалено структурні схеми НШС систем радіодоступу на основі поєднання технологій OFDM і кодового поділу абонентів.

Ключові слова: радіодоступ, система радіозв'язку, широкосмуговий сигнал, РЧС

Abstract

In this work, the performance of broadband radio access systems is increased and improved structural schemes of NSS radio access systems based on a combination of OFDM technologies and code division of subscribers are proposed and developed.

Keywords: radio access, radio communication system, broadband signal, RFS

Вступ

Актуальність теми. При збільшенні мобільності абонентів оператори зв'язку переходять до мікро- і фемтокоміркової організації мережі, що забезпечує клієнт-орієнтоване надання послуг зв'язку і збільшення швидкості передачі даних. Через значне збільшення покриття систем WiFi виникає проблема перевантаження радіочастотного спектру (РЧС). Діапазони частот 2400 – 2483,5 МГц; 5150 – 5350 МГц і 5650 – 6425 МГц виявляються зайнятими і перевантаженими [1].

Впровадження нових технологій радіозв'язку супроводжується рядом проблем, що пов'язані із забезпеченням електромагнітної сумісності. Тому разом з економічними і адміністративними рішеннями розробляються і технічні рішення проблеми дефіциту РЧС.

Одним із шляхів подолання наростаючого дефіциту радіочастотного ресурсу при побудові корпоративних мобільних мереж зв'язку є спільне використання РЧС різними системами радіозв'язку та радіодоступу [2].

Ефективним технічним рішенням може стати застосування багаточастотних надширокосмугових (НШС) сигналів, значення відношення робочої смуги частот яких до центральної частоти сигналу лежить в межах від 0,5 до 2.

Найбільш перспективними для радіодоступу та найменш дослідженими є багаточастотні НШС системи двох типів: 1) на основі поєднання технології OFDM і кодового поділу абонентів; 2) на основі дискретних частотних складних сигналів. Багато робіт присвячено дослідженням впливу вузькосмугових перешкод на імпульсні і багаточастотні НШС системи радіодоступу, проте дослідження впливу широкосмугових перешкод на ці системи практично не описано в літературі. Тому, тема дослідження особливостей побудови і застосування НШС систем на основі спільного використання спектра, вузькосмуговими, і широкосмуговими системами радіозв'язку, є актуальною.

Ступінь розробленості теми. Найбільш вивченими і опрацьованими з НШС систем є імпульсні системи НШС радіодоступу [1, 7], менш вивчені і менш описані в літературі - багаточастотні НШС системи радіодоступу [6].

Аналіз робіт по темі спільного використання радіочастотного спектру сучасними системами зв'язку з НШС системами радіодоступу показав, що дана проблема розглядається тільки як спільна робота сучасних вузькосмугових систем радіодоступу з імпульсними і деякими багаточастотними НШС системами радіодоступу. Однак, практично не розглядається спільне використання РЧС надширокосмугових систем з сучасними широкосмуговими системами радіодоступу, які працюють в

даний час на мережі загального користування, спектральна щільність потужності яких перевищує спектральну щільність потужності сигналів розглянутих НШС систем [7].

Таким чином, проблема спільного використання радіочастотного спектру сучасних ширококутових систем радіодоступу представляє інтерес для дослідження одночасної (спільної) роботи в одному діапазоні частот сучасних ширококутових систем радіодоступу з багаточастотними НШС системами радіодоступу.

Мета роботи і завдання дослідження.

Мета: підвищення ефективності використання РЧС в корпоративних мережах за рахунок спільного використання РЧС багаточастотними НШС системами та іншими системами радіодоступу.

Предмет дослідження - можливість спільного використання РЧС в діапазоні частот 2,85 - 10,6 ГГц сучасними системами WiFi і багаточастотними НШС системами радіодоступу: з суміщенням технології OFDM і кодового поділу абонентів; на основі дискретних частотних складних сигналів.

Об'єкт дослідження - багаточастотні НШС системи радіодоступу

Наукова задача дослідження полягає в дослідженні взаємодії багаточастотних НШС систем радіодоступу з іншими системами радіодоступу.

Результати дослідження

Впровадження нових технологій супроводжується рядом проблем, пов'язаних з ефективністю використання радіочастотного ресурсу. Найбільш значуща з них є забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС). Технічні рішення проблеми дефіциту РЧС можливі за такими напрямками [3]: підвищення ефективності використання РЧС; конверсія і перерозподіл РЧС; виділення радіочастотного ресурсу, нейтрального до конкретної технології; спільне використання РЧС.

Підвищення ефективності використання РЧС є головною умовою для впровадження нових технологій радіозв'язку при обмеженому робочому радіоканальному спектрі. Реальний шлях його виконання є максимальне зниження обмежень, що вводяться по ЕМС до оптимальних значень за рахунок застосування методик оцінки ефективності використання РЧС [5].

Підхід до побудови інтелектуальних радіосистем, що отримав назву когнітивне радіо [3], є передовою технологією, що дозволяє забезпечити раціональне використання радіочастотного спектру [6]. Ці радіосистеми здатні отримувати і передавати сигнал на адаптивно змінюваних радіочастотах, а також змінювати вид модуляції, тип кодування та інші параметри системи і забезпечувати необхідну якість зв'язку. Дослідження в області когнітивного радіо лежать на стику радіотехніки і штучного інтелекту.

Для забезпечення можливості спільної роботи в одному діапазоні частот ВС, ШС і НШС систем їх взаємний вплив не повинен перевищувати деяких встановлених меж.

Дослідження і розробка шляхів вирішення проблеми дефіциту РЧС і принципів спільного використання РЧС описані в роботах [5].

Результати аналізу основних методів і процедур керування використанням РЧС [4] дають підстави констатувати факт, що системи зв'язку, виконані по НШС технології, актуальні для дослідження, мають ряд переваг і надають можливість спільного використання спектра [6].

Системи радіозв'язку можна класифікувати за різними критеріями - дальність, потужність, швидкість передачі, методи модуляції, технології радіодоступу та ін. Одним з критеріїв класифікації є коефіцієнт ширококутовості сигналу.

Коефіцієнт ширококутовості сигналу визначається як відношення робочої смуги частот радіосистеми до центральної частоти діапазону [1].

Потенційні можливості систем зв'язку при застосуванні в них надширококутових сигналів дуже значні. Вони на кілька порядків перевищують можливості звичайних ширококутових систем за швидкістю передачі інформації в системах зв'язку, з розділення сигналів за часом і кодом, по стійкості до зовнішніх перешкод. Винятковою особливістю надширококутових систем є висока проникаюча здатність надширококутового сигналу через стінові конструкції [4].

Сигнали багаточастотних НШС систем являють собою суму сигналів різних частотних субканалів в широкому частотному діапазоні. Кожен такий сигнал є відносно вузькокутовим сигналом. У порівнянні з широко освітленими в літературі надкороткоімпульсними (НКІ) НШС системами радіодоступу [13], багаточастотні НШС системи можуть вести передачу в кожному частотному каналі окремо, тим самим забезпечуючи високу швидкість передачі даних. Принципи

надширококутний багаточастотний передавання добре узгоджуються з ортогональним багаточастотним мультиплексуванням (OFDM), а при використанні НКІ систем з великою базою N (наприклад, $N = 256$) швидкість передачі і спектральна ефективність знижується в N раз.

При роботі в одній смузі частот НШС систем з НКІ з іншими вузькокутовими (ВС) і ширококутовими (ШС) системами радіодоступу, як відомо, забезпечується спільне використання спектра за рахунок великої бази НКІ сигналу. Інтерференція і шуми в приймачі НШС системи з НКІ, як і швидкість передачі, зменшуються «в базу раз». Це забезпечує НШС системам з НКІ [5, 7] можливість спільного використання РЧС.

На сьогоднішній день відомі стандарти надширококутний зв'язку IEEE 802.15.3a і ETSI TS 102 455, в яких застосовується принцип передачі WiMedia UWB. У стандарті IEEE 802.15.3a описуються особливості, параметри, частотний план і особливості побудови багаточастотної НШС системи з OFDM. Основними багаточастотними НШС системами радіодоступу є: багаточастотна НШС система з OFDM, багаточастотна імпульсна НШС система і багаточастотна НШС система з сигналами дискретної частоти. Основи НШС техніки і систем описані в роботах: [1].

Одним з напрямків розвитку НШС систем є багаточастотні НШС системи з OFDM. Застосування для передачі даних за допомогою технології OFDM досить докладно описано в літературі [4]. Вже згадана в роботі багаточастотна НШС система з OFDM описується стандартом IEEE 802.15.3a.

Перевагами стандарту IEEE 802.15.3a є: висока ефективність використання РЧС за рахунок застосування технології OFDM, що займає смугу в 528 МГц, використання частот з пілот-сигналами для синхронізації і динамічної оцінки каналу. Для систем зв'язку з технологією OFDM характерні наступні недоліки: складність інтеграції апаратури, високий пік-фактор сигналу, обмежене число абонентів, складність систем синхронізації [7].

Тенденцією розвитку систем зв'язку є поєднання технологій, що дозволяє ефективно використовувати РЧС і підвищити ефективність систем передачі даних. Поєднання технологій кодового поділу абонентів, OFDM і НШС технології дозволяє збільшити стійкість багаточастотної НШС системи з OFDM, збільшити число абонентів за рахунок розподілу швидкості передачі [1], збільшити стійкість до ВС та ШС перешкод і забезпечити спільне використання РЧС з ВС і ШС системами радіодоступу, які працюють в одному частотному діапазоні. Відповідно до класифікації НШС систем, представленої в [7], кодове розділення абонентів застосовується в імпульсних НШС системах [4], а технологія OFDM - в багаточастотних НШС системах. Робота імпульсної НШС системи проводиться на одній частоті. Така система забезпечує роботу декількох абонентів на прийнятній швидкості передачі даних. Перевагою таких систем є простота технічної реалізації. Багаточастотні НШС системи з OFDM забезпечує високу швидкість передачі (від 100 до 480 Мбіт / с [4]) і ефективне використання діапазону частот.

Ідея поєднання технологій кодового поділу абонентів і OFDM не нова і детально була розглянута для випадку ШС систем. Для НШС систем приклад такої системи описаний в [3]. У даних джерелах розглядається застосування розширюють послідовностей в системі MB-OFDM для збільшення швидкості передачі. Таким чином, була викладена ідея застосування принципів CDMA в багаточастотній НШС системі з OFDM. В результаті була запропонована концепція високошвидкісної передачі даних за допомогою розробленої багаточастотної системи множинного доступу з розширенням спектра (SSMC-MA – Spread Spectrum - Multi-carrier – Multiple Access), побудованої на основі технології OFDM.

Для функціонування системи SS-MC-MA дозволений діапазон частот ділиться між групами абонентів по 3 піддіапазони (частотних канали) на групу. Сигнали кожної підгрупи кодуються розширює послідовністю. Для кожної групи абонентів виділяється по N кодових послідовностей, які послідовно застосовуються для кодування сигналів, тим самим реалізується частотний, кодовий та часовий поділ абонентів.

Основним питанням досліджень, представлених в [16], є адаптація кількості частот, що використовуються для передачі даних на певній швидкості передачі. Запропоновано концепцію множинного доступу і рекомендації з побудови системи передачі на основі SS-MC-MA. Принцип дії цієї системи нагадує, в загальному випадку, систему з об'єднанням частотних каналів, яка застосовується для забезпечення необхідної швидкості передачі.

В ході роботи з дослідження можливості спільного використання РЧС багаточастотних НШС систем радіодоступу з сучасними ВС та ШС системами радіодоступу розроблена багаточастотна

імпульсна НШС система. Особливість запропонованої багаточастотної імпульсної НШС системи полягає в тому, що з її допомогою здійснюється одночасна передача даних в смузі 500 МГц, з кількох частотним субканалів. За допомогою смугових фільтрів в смузі шириною 500 МГц проводиться частотний поділ на субканалів шириною 50 МГц; таким чином, організовується багаточастотна передача даних. Застосування імпульсних сигналів (біполярного Гаусового імпульсу) в багаточастотних НШС системах [1, 6] дозволяє здійснити високошвидкісну передачу і ефективно використовувати частотний ресурс системи.

В даний час до РЕМ пред'являються вимоги як по швидкості передачі, так і за кількістю абонентів. Застосування технологій кодового і часового поділу абонентів знижують швидкість передачі в розрахунку на канал, оскільки до інформаційних символів додаються службові символи кодових послідовностей або збільшується період роботи одного абонента на частоті. Проблема збільшення кількості абонентів присутня у всіх системах зв'язку (ВС, ШС і НШС). Сигнали з дискретною частотою відносяться до класу багаточастотних сигналів, що забезпечують високу швидкість передачі і високу стійкість системи. Порівняння систем з великою кількістю абонентів представлено в [3, 4].

В рамках цієї роботи проводились дослідження частини РЧС, дозволеного для застосування НШС систем, з метою виявлення вузькосмугових і широкосмугових перешкод. Проведено моніторинг РЧС в діапазоні 2 - 12 ГГц за допомогою широкосмугової всенаправленої вимірювальної антени і аналізатора спектра Agilent E4407B (до 26,5 ГГц), які входять до переліку засобів вимірювання [5].

У даній роботі розглядаються крайні випадки виявлених ВС та ШС перешкод, тобто ВС системи, що мають максимально можливу для ВС систем ширину каналу, і ШС системи, також мають максимальну ширину каналу серед відомих систем діапазону.

Унікальність діапазону 5 - 6 ГГц полягає в присутності як ВС, так і ШС системи радіодоступу. В даному діапазоні частот доцільно проводити дослідження можливості спільного використання РЧС НШС систем з ВС і ШС системами радіодоступу. Таким чином, системи WiFi (IEEE 802.11n і IEEE 802.11ac), що працюють в даному діапазоні частот, визначені як «вузькосмугові» (ВС) і «широкосмугові» (ШС) системи, відповідно.

Надширокосмугові системи малого радіусу дії (до 100 м), що застосовуються в приміщеннях, призначені для передачі великих об'ємів даних на високій швидкості. Такі системи приходять на зміну провідним системам, призначеним для обміну даними між пристроями, телефоном і гарнітурою, медичних зондів. Відповідно, в даній роботі розглядаються системи зв'язку, що утворюють внутрішньоофісний сегмент мережі радіодоступу. Потужні транспортні системи зв'язку радіодоступу, що працюють в неліцензованому діапазоні частот, такі як WiMAX, WiMAN і РРЛ, в даній роботі не розглядаються. Сигнали систем LTE і LTE Advanced, виявлені під час моніторингу, займають смугу меншу, ніж виявлені сигнали системи WiFi, тому в даній роботі вони теж не враховуються.

У даній роботі розглядаються граничні випадки прояву виявлених вузькосмугових (ВС) і широкосмугових (ШС) перешкод, тобто ВС системи, що мають максимально можливу для ВС систем ширину каналу, і ШС системи, також мають максимальну ширину каналу серед відомих систем діапазону 5 - 6 ГГц.

Порівняння характеристик проведено для систем WiFi, спроектованих відповідно до вимог стандарту IEEE 802.11 n. Ці системи працюють спільно з НШС системами радіодоступу в діапазоні частот 5 - 6 ГГц. Розглянуто також характеристики системи, побудованої відповідно до специфікації сімейства стандартів WiFi - IEEE 802.11 ac [1].

Сигнали систем зв'язку, розглянуті в даній роботі, створюють потужні перешкоди для багаточастотних НШС систем в діапазоні частот 5 - 6 ГГц. У таблиці 1 представлені параметри сигналів основних перешкод, виявлених в результаті моніторингу РЧС в діапазоні 5 - 6 ГГц.

Таблиця 1- Параметри сигналів основних систем радіодоступу, виявлених в результаті моніторингу РЧС в діапазоні 5 - 6 ГГц

Параметри систем	Значення параметра для :		
	802.11 та (WiFi)	802.11 ac (WiFi)	Багаточастотна НШС система
Робоча смуга частот системи , ГГц	5-6	5-6	2,85-10,6
Ширина робочої смуги частот одного каналу , МГц *	40	160	>500
Спектральна щільність випромінюваної потужності , дБм/МГц*	13,98-3,9	3,9	-62,5
випромінювана потужність , Вт *	0,1-1	0,1	0,281-10 ⁻⁶
кількість підносійних	78	512	15
Підтримувана швидкість передачі , Мбіт/с	56	>600	<480

* Відповідно до [6];

Сигнали системи WiFi (IEEE 802.11 n) створюють вузькосмугові завади для НШС систем, а сигнали системи WiFi (IEEE 802.11 ac) - широкосмугові перешкоди, відповідно. У дослідженні моделями ВС та ШС перешкод є сигнали реальних пристроїв стандартів WiFi: IEEE 802.11n і IEEE 802.11ac, записані поканально відповідно до їх частотним планом за допомогою програмного забезпечення Agilent 89601BE VSA [5], яке має можливість відтворення записів реальних сигналів в якості джерел сигналів при моделюванні для перевірки розроблюваних пристроїв і трансляції їх в програмне середовище Matlab.

Питаннями, що представляють інтерес для дослідження, є: ефективні частотно-часові послідовності, збільшення кількості абонентів, збільшення швидкості передачі, збільшення спектральної ефективності системи та ін. Багато питань НШС систем не до кінця вивчені і вирішені, зокрема: застосування технологій MIMO в багаточастотній НШС системі із суміщенням технології OFDM і кодового поділу абонентів, ефективні методи боротьби з ВС і ШС перешкодою, а також зменшення пікфактора OFDM сигналу в багаточастотній НШС системі з суміщенням технології OFDM і кодового поділу абонентів.

Висновки

Основні результати роботи було зведено до наступного: проведено аналіз характеристик багаточастотної НШС системи радіодоступу з суміщенням технологій OFDM і кодового поділу абонентів і багаточастотної НШС, а також системи радіодоступу з дискретними частотними сигналами та надано рекомендації щодо їх застосування для організації спільного використання РЧС з іншими сучасними системами радіодоступу.

На підставі наведених вище положень можна зробити висновок про те, що мета досліджень досягнута, наукова задача вирішена.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Косичкина, Т. П. Исследование многочастотных НШС систем радиодоступа на основе совместного использования радиочастотного спектра / Т. П. Косичкина, В. С. Сперанский, А. А. Фролов и др. // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения: Международная науч.-тех. конф. «INTERMATIC – 2018»: материалы конф. – М.: МГТУ МИРЭА - ИРЭН РАН. –2018. – Т. 18. – № 4. – С. 861-866.
2. Косичкина, Т. П. Перспективы развития сверхширокополосных систем связи в направлении когнитивного радио / Т. П. Косичкина, В. С. Сперанский, А. П. Спиринов, А. А. Фролов и др. // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2015. – Т. 6. – № 1. – С. 9-11.
3. Тихвинский, В. О. Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced: технологии 4G, приложения и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, В. П. Высочин. – М.: Издательский дом Медиа

Паблішер, 2014. – 384 с.

4. Фролов, А. А. Влияние узкополосных и широкополосных помех на многочастотную импульсную НШС-систему радиодоступа / А. А. Фролов // Электросвязь. – 2014. – № 7. – С. 32-35.

5. Фролов, А. А. Исследование и разработка многочастотной сверхширокополосной системы с ДЧ сигналами / А. А. Фролов, Ю. С. Шинаков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9. – № 6. – С. 28-33.

6. Фролов, А. А. Исследование многочастотной сверхширокополосной системы радиодоступа с совмещением технологий OFDM и кодового разделения абонентов / А. А. Фролов // Радиоэлектронные устройства и системы инфокоммуникационных технологий: Международная научн.-техн. конф.: материалы конф. – М.:РНТОРЭС им. А.С. Попова. – 2017. – Выпуск :LXXII. – С. 77-83.

7. Антонюк Г.Л. Формування ортогонально-рознесених піднесучих при OFDM / В.С. Белов, О.С. Плуденко, Г. Л. Антонюк // XLVI Науково-технічна конференція факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, 2017 р.

Антонюк Ганна Леонідівна— аспірант групи АС-20, кафедра ТКСТБ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: annaantonuik@gmail.com

Полуденко Ольга Сергіївна - аспірант групи АС-19, кафедра ТКСТБ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rtt13b.poludenko@gmail.com

Баланюк Юрій Миколайович – студент ТКР – 18 мсз, кафедра ТКСТБ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: annaantonuik@gmail.com

Науковий керівник:**Васильківський Микола Володимирович**— канд. техн. наук, доцент кафедри ТКСТБ, заступник декана факультету ІРЕН, Вінницький національний технічний університет

Antonuiк Hanna L. — Department of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : annaantonuik@gmail.com

Poludenko Olha S. — Department of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : rtt13b.poludenko@gmail.com

Balanuik Yuriy M. — student of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : annaantonuik@gmail.com

Supervisor: **VasylykivskyMykola V.**— Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia