

ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИСТЕМ ШИРОКОСМУГОВОГО РАДІОДОСТУПУ НА БАЗІ АРХІТЕКТУРИ SDR

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено порівняльний аналіз сигнально-кодових конструкцій системи зв'язку з програмованими параметрами (SDR) на основі класичної технології ортогонального частотного мультиплексування (OFDM) з позицій спектральної ефективності, рівня локалізації енергії сигналу в частотній площині і завадостійкості.

Ключові слова: *завадостійкість систем широкосмугового радіодоступу, спектральна ефективність, SDR архітектура, OFDM.*

Abstract

A comparative analysis of signal-code structures of a communication system with programmable parameters (SDR) based on classical orthogonal frequency multiplexing (OFDM) technology from the positions of spectral efficiency, the level of signal localization in the frequency plane and noise immunity was conducted.

Keywords: *impedance of broadband radio access systems, spectral efficiency, SDR architecture, OFDM.*

Вступ

Інтенсивний розвиток бездротових технологій доступу до інформаційних ресурсів на сьогоднішній день призвів до того, що радіочастотний ресурс для них практично вичерпаний. У зв'язку з цим все більш актуальною стає проблема підвищення спектральної ефективності сучасних бездротових технологій зв'язку для забезпечення високошвидкісного доступу до інформаційних і медіа послуг.

Значно підвищити ефективність використання спектра дозволяє механізм динамічного керування спектром, згідно з яким вторинним користувачам (які не закріплені за даним частотним діапазоном) надається можливість використовувати діапазони первинних користувачів (закріплених за даним діапазоном) на час, поки цей діапазон не використовується первинним користувачем. На сьогоднішній день подібну технологію реалізують системи зв'язку з програмованими параметрами (Software Defined Radio - SDR), які через свою гнучку архітектуру можуть забезпечувати багаторазову перебудову передавача за сеанс зв'язку.

Подальшого розвитку технологія SDR отримала порівняно недавно, коли було запропоновано інтегрувати інтелектуальний модуль в структури SDR приймального-передавача, який оцінює параметри каналу зв'язку і електромагнітний стан в регіоні та приймає рішення про вибір оптимальних параметрів для передачі інформації (несуча частота, ширина робочої смуги, швидкість, вид кодування і т.п.). Така технологія отримала назву когнітивного радіо (Cognitive Radio System CRS). Системи когнітивного радіо мають досить широкі можливості в плані передачі інформації і основна з них це вибір оптимальної сигнально-кової конструкції з точки зору спектральної ефективності та завадостійкості [1-3].

На сьогоднішній день розроблено декілька варіантів сигнально-кодових конструкцій які є модифікаціями класичної технології ортогонального частотного мультиплексування з розділенням (OFDM). Найбільшого поширення набули такі системи як CMT (Cosine modulated multitone - косинус-модульовані багатотональні сигнали), SMT (Staggered modulated multitone - багато тональні сигнали зі зсувом квадратурних компонентів), NOSEFDM (Non Orthogonal Spectral Efficient Frequency Division Multiplexing - спектрально-ефективні сигнали з частотним мультиплексуванням і не ортогональним

розділенням частот). Інтерес до цих технологій викликаний тим, що дані сигнали мають високу спектральну ефективність та досить непогані показники завадостійкості [4-5].

Таким чином, дослідження, в якому проводитиметься порівняльний аналіз зазначених сигнально-кодових конструкцій з позицій спектральної ефективності, рівня локалізації енергії сигналу в частотній площині і завадостійкості є актуальним.

Метою роботи є дослідження спектральної ефективності та завадостійкості методів формування сигналів в системах широкосмугового радіодоступу на базі архітектури SDR.

Основна частина

SDR (Software Defined Radio) – це радіоустаткування, в якому всі або більшість функції фізичного рівня виконуються в програмному вигляді. Програмна реалізація більшості функцій по обробці високочастотних сигналів і оперативне програмне керування апаратурою забезпечують кардинальне підвищення функціональних можливостей радіостанції шляхом підтримки роботи в різних сервісах, широкій смузі частот та в різних стандартах зв'язку.

Технологія SDR є ключовою в передбачуваному майбутньому розвитку радіообладнання: адаптивне радіо (Adaptive Radio - AR), когнітивне «розумне» радіо (Cognitive Radio - CR) і інтелектуальне радіо (Intelligent Radio - IR). На інтуїтивному рівні SDR визначають як напрямок розвитку радіозв'язку, покликаний об'єднати на єдиній апаратній платформі роботу радіостанцій різних типів і різних стандартів. Передбачається, що SDR реалізує функції радіоприймача і радіопередавача в програмному вигляді або за допомогою програмно-керованих апаратних компонентів, які в силу своєї фізичної природи не можуть бути реалізовані програмно, як, наприклад, підсилювач потужності або антена [2, 4].

У термінах концептуальної моделі відкритих систем зв'язку OSI-7, SDR визначається як радіостанція, в якій всі або більшість функцій фізичного рівня виконуються в програмному вигляді і можуть бути програмно переналаштовані відповідно до вимог стандарту зв'язку і/або замінюватися іншим програмно-керованим обладнанням.

SDR передбачає істотну зміну апаратної частини передавача і вимог, що застосовуються до апаратної частини. Апаратура приймача SDR повинна, насамперед, забезпечувати перетворення прийнятого високочастотного модульованого сигналу з метою його максимально точного подання у цифровому вигляді за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Апаратура передавача повинна забезпечувати пряме формування модульованого сигналу та підсилення потужності. Функції високочастотної апаратної частини приймача SDR зводяться до забезпечення енергетичного потенціалу радіоканалу - підсилення потужності в передавачі та підсилення прийнятого сигналу в приймачі.

Конфігурація SDR відбувається або за допомогою програмного забезпечення, або за допомогою апаратних засобів. Для цієї мети в SDR використовуються DSP-процесори або матриці FPGA. Програмним шляхом налаштовуються: робоча частота, смуга пропускання, швидкість, кількість несучих, тип модуляції та інші параметри. Нові параметри можна завантажити з носія або по бездротовому каналу, або ввести безпосередньо, також можлива підтримка інших методів. Це дуже зручно, оскільки для зміни параметрів схеми її не потрібно переробляти. SDR переводить аналогові РЧ - сигнали, що займають різні смуги в спектрі, в потік цифрових даних, який після обробки знову переводиться в аналогову форму.

Однак SDR - це не тільки програмне забезпечення. Розрахунки показують, що повністю програмна реалізація не оптимальна як по споживанню, так і по ефективності. Для деяких операцій, наприклад, передачі або підсилення сигналу, в силу їх природи оптимальна апаратна реалізація [5].

Перевага SDR полягає в простоті реалізації апаратної частини. Стандартні радіочастотні схеми скорочуються до мінімуму, їх вартість знижується. Сигнальний процесор виконує більшу частину функцій, які раніше виконувалися в аналогових схемах. Цей підхід дуже вдалий, враховуючи гнучкість програмної реалізації і можливість компенсації деяких небажаних ефектів, які виникають в апаратній частині. Більш того, програмна реалізація дозволяє усувати несправності, змінювати і доповнювати функціонал пристрою та покращувати його характеристики з мінімальними витратами. Зокрема SDR дозволяє швидко додавати нові типи модуляції, протоколи передачі і т.д. У разі апаратної реалізації це вимагало б виготовлення нової схеми. Недоліки у SDR теж є - це складність

програмного забезпечення, витрати на розробку, в т.ч. часові, більше енергоспоживання і в деяких випадках обмежений частотний діапазон.

Ключові особливості SDR:

1. Багатосмуговість. Для вирішення ряду завдань потрібно одночасна робота на декількох частотах. Зазвичай для цього використовують кілька приймачів з різними діапазонами. SDR може замінити їх і працювати як на одній смузі частот, так і на декількох одночасно.
2. Багатоканальність. SDR може працювати одночасно на декількох частотах, наприклад, передавати дані і голос на двох різних несучих частотах.
3. Здатність одночасної роботи в різних стандартах (AM, FM, GMSK, CDMA і ін.).
4. Можливість передавати дані з різною швидкістю, наприклад, при одночасній роботі з двома сигналами в різних стандартах або при обробці частин одного і того ж сигналу.
5. Смуга пропускання SDR визначається цифровими фільтрами, тому її можна легко міняти. Більше того, цифрові фільтри не реагують на деякі завади, а також можуть компенсувати спотворення, які вносяться лінією передачі [3].

Принцип роботи SDR полягає в тому, що широкосмуговий приймач приймає, не розшифровуючи, будь-які радіосигнали. Швидкісний аналого-цифровий перетворювач конвертує їх в потік бітів, а комп'ютер зі спеціальним програмним забезпеченням визначає, що ж саме було прийнято і перетворює ці біти, наприклад, в голосовий трафік або видає іншу інформацію.

Так як системи радіозв'язку з програмованими параметрами і системи когнітивного радіо на базі SDR є передовими системами, тому і задіяні при цьому сигнально-кодові конструкції, повинні бути теж передовими і перспективними та задовольняти умови:

1. Висока спектральна ефективність сигнально-кодових конструкцій, що припускає використання прикриття частот.
2. Достатня заводо захищеність для забезпечення високої швидкості передачі інформації.
3. Можливість адаптації до електромагнітного середовища, щоб забезпечувати умови/властивості/вимоги когнітивності.
4. Сумісність з іншими видами сигналів, для можливості роботи в інших системах зв'язку, даний пункт може не виконуватися в деяких випадках.

Під дані вимоги найбільш повно підходять сигнально-кодові конструкції:

1. OFDM (англ. Orthogonal frequency-division multiplexing) - ортогональне частотне мультиплексування з поділом каналів.
2. NOSEFDM (англ. Non Orthogonal Spectral Efficient Frequency Division Multiplexing) - спектрально-ефективні сигнали з частотним мультиплексуванням і не ортогональним розподілом частот.
3. SMT (англ. Staggered modulated multitone) – багатотональні сигнали із зсувом квадратурних компонентів.
4. CMT (англ. Cosine modulated multitone) - косинус-модульовані багатотональні сигнали [4].

Переваги методу OFDM полягають в наступному: велика (в порівнянні з методами модуляції з однією несучою) тривалість символу в сукупності з використанням захисних інтервалів, що дозволяє вести ефективну боротьбу з міжсимвольною інтерференцією (MCI); висока спектральна ефективність, як результат адаптивної модуляції, а також можливість застосовувати технологію MIMO; простий еквалайзер.

Модуляція OFDM використовується в системах цифрового телебачення, системах стільникового зв'язку WiMAX, MobileWiMAX, MBWA, автоматизованих системах контролю та обліку електроенергії, системах "інтелектуальний дім" та ін. На ній базуються стандарти бездротового зв'язку (IEEE) 802.11 a, e, g, n; 802.16a, d, e; 802.20.

NOSEFDM (англ. Non Orthogonal Spectral Efficient Frequency Division Multiplexing) - спектрально-ефективні сигнали з частотним мультиплексуванням і не ортогональним розподілом частот. Дана технологія є однією з модифікацій технології OFDM. При всіх перевагах сигналів OFDM, вони мають недостатню спектральну ефективність або високі питомі витрати смуги частот. Величина цих витрат становить $\Delta F_{\text{тб}} = 1 \text{ Гц}/(\text{біт}/\text{с})$ при визначенні займаної смуги ΔF по ортогональному розташуванню частот і $\Delta F_{\text{тб}} \approx 2 \text{ Гц}/(\text{біт}/\text{с})$ при визначенні ΔF по рівню позасмугових випромінювань -20 дБ. Крім того, сигнали з OFDM володіють високим значенням пік-фактора коливань, який становить не менше 11 дБ при кількості підносійних частот N від 512 до 4000. Високий рівень позасмугових випромінювань, що характерний сигналам з OFDM не дозволяє зменшувати захисний інтервал між каналами передачі інформації, що мають смугу частот $\Delta F_{\text{к}}$.

Для підвищення спектральної ефективності сигналів з OFDM використовується зменшення частотного розподілу Δf і перехід до не ортогональних багаточастотних сигналів при збереженні класичних методів модуляції на кожній частоті. Однак такий перехід призводить до суттєвого збільшення питомих енергетичних витрат β_E . Величина β_E може становити 3 дБ і більше (в залежності від алгоритму обробки) навіть при кількості підносійних частот $N = 4000$. При збільшенні N величина β_E буде збільшуватися. Крім того, швидкість спаду рівня позасмугових випромінювань не ортогональних багаточастотних сигналів зберігається такою ж, як і у сигналів з OFDM.

В технології NOSEFDM для підвищення швидкості спаду рівня позасмугових випромінювань (зменшення займаної смуги частот ΔF , визначеної за рівнем позасмугових випромінювань від -30 дБ до -60 дБ) використовують спектрально-ефективні методи модуляції на підносійних частотах. Зменшення втрат, пов'язаних із збільшенням β_E при переході до не ортогональних багаточастотних сигналів (NOSEFDM), здійснюються шляхом зниження міжканальних завад, викликаних перекриттям спектрів сигналів, які передаються на кожній частоті [5].

Висновки

В ході роботи було виявлено, що сигнали з OFDM не підходять для роботи в системах широкосмугового доступу на базі SDR, через те що неефективно використовують спектр, внаслідок високого рівня бічних пелюстків. За результатами дослідження OFDM сигнал має найгірші спектральні характеристики, але його завадостійкість, щодо інших сигналів, є найкращою.

Сигнали з NOSEFDM і СМТ найкраще підходять для формування сигналу в системах на базі архітектури SDR, оскільки відмінності між цими сигналами в різних показниках не значні. При виборі того чи іншого сигналу, треба виходити з можливості їх реалізації на певній компонентній базі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ушаков Д. И., Старовойт И. А., Фонов А. Ю. «О формирование сигналов для систем когнитивной радиосвязи», опубликованной в сборник статей Международной научно-практической конференции влияние науки на инновационное развитие (3 октября 2015г, г. Самара).-Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГАСАЙНС, 2015.-318с.
2. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемые радио.-М.: Горячая линия-Телеком, 2015.-372с.
3. Мирошникова Н.Е. Обзор систем когнитивного радио // Т-сomm:телекоммуникации и транспорт. 2013. № 9. С. 108–112.
4. Бакулин М. Г., Крейнделин В. Б., Шлома А. М., Шумов А.П. Технология OFDM. Учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия - Телеком, 2015. — 360 с
5. Фонов А.Ю., Сабынин Н.Н., Корольок Н.О. Исследование особенностей OFDM сигналов при использовании в системах когнитивного радио//IX Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» – ИРЭ РАН, 23 ноября – 25 ноября 2015 г. сборник трудов, С.: 95–100 334 с.

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

Скощук Валентин Костянтинович — студент групи ТКР-16б, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Любашевський Леонід Миколайович - студент групи ТКТ-15б, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

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

Skoshchuk Valentin K. - student of the TKR-16b group, Faculty of Infocommunications, Radioelectronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Lyubashevsky Leonid Nikolaevich - student of the TKT-15b group, Faculty of Infocommunications, Radioelectronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.