

ВІДГУК

офіційного опонента доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача кафедри прикладної електродинаміки Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Горобця Миколи Миколайовича на дисертаційну роботу **Коляденка Олексія Вадимовича** на тему «**Методи забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку**», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертаційної роботи

На даний час існує величезна кількість різних систем бездротового зв'язку, що працюють в ліцензованих і неліцензованих діапазонах частот. Через постійне зростання числа використовуваних бездротових пристроїв і розвитку технологій бездротового зв'язку потрібно виділення додаткових діапазонів частот. Через обмеженість частотного ресурсу буде виникати все більше труднощів з виділенням частот, а значить, ефективність існуючої політики ліцензування спектру різко зменшиться. Ця проблема може бути вирішена за рахунок використання нової технології доступу до ліцензованих смуг частот, в яких працюють існуючі користувачі (ліцензовані користувачі). Ця технологія носить назву динамічного доступу до спектру. Технологія динамічного доступу до спектру лежить в основі систем когнітивного радіо, і дає можливість неліцензованим користувачам отримати доступ до частотного ресурсу нарівні з ліцензованими користувачами новими методами. Але при впровадженні нової технології виникає проблема - це проблема забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) між радіоелектронними засобами (РЕЗ) первинних користувачів і РЕЗ вторинних користувачів спектра і проблема забезпечення внутрішньосистемної ЕМС. Таким чином, розробка методів забезпечення ЕМС при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку (ММЗ) є **актуальною науковою задачею**.

Наукова новизна отриманих результатів

Основними науковими результатами дисертаційної роботи на наш



погляд є наступне:

1. Вперше розроблено непараметричний алгоритм виявлення сигналів первинних користувачів спектру, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж та алгоритм, який побудовано на математичному апараті нечіткої логіки. Проведено порівняльний аналіз ефективності алгоритмів виявлення сигналів: алгоритму, побудованому на математичному апараті нейронних мереж, алгоритму, побудованому на математичному апараті нечіткої логіки, алгоритму, побудованому на критерії Вальда і алгоритму виявлення, заснованому на знако-ранговому критерії Вілкоксона. В результаті проведеного аналізу дано рекомендації з вибору алгоритму виявлення в залежності від сигнально-завадової обстановки (СЗО) і ступеня апріорної невизначеності щодо параметрів сигналів первинних користувачів.

2. Вперше для кластеризації ресурсів розроблено метод, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж Кохонена. Кластеризація ресурсів здійснюється за векторами ознак: координати розташування абонентських станцій (АС), запрошені ресурси та доступні ресурси. Даний метод на відміну від існуючого методу, заснованому на теорії розладнання з подальшою нечіткою кластеризацією вимагає менших обчислювальних витрат і не поступається в ефективності його використання. Крім того, метод заснований на теорії розладнання з подальшою нечіткою кластеризацією передбачає тільки кластеризацію просторового ресурсу.

3. Знайшов подальший розвиток метод просторово-часового доступу при когнітивному розподілі просторово-часового ресурсу ММЗ. Задача ЕМС, яка при цьому вирішується дозволить економити радіочастотний ресурс та збільшити число споживачів в умовах значного частотного завантаження.

4. Вперше розроблено метод забезпечення ЕМС при розподілі частотно-часового ресурсу в мережах мобільного зв'язку. Даний метод складається з послідовно пов'язаних між собою алгоритмів: алгоритму з повторним використанням частот і алгоритму, заснованому за критерії гарантованої якості зв'язку. Використання даного методу дозволяє значно скоротити смугу частот і забезпечить максимальну рівномірність якості зв'язку.

Практична значимість наукових результатів

1. Рекомендований в дисертації параметричний двохпороговий усічений алгоритм Вальда дає можливість значно скоротити час на проведення спостереження та прийняття рішення. Розроблений непараметричний алгоритм, який побудовано на нейронній мережі Кохонена дає можливість при низьких значеннях відношення потужності сигналу до потужності шуму виявити сигнали первинних користувачів з високою достовірністю.

2. Практичне застосування метода кластеризації ресурсів, побудованого на математичному апараті нейронних мереж Кохонена, дозволяє скоротити обчислювальну складність, а отже і час, що витрачається на кластеризацію ресурсів мережі. Крім того, застосування запропонованого методу дає можливість здійснювати кластеризацію всіх необхідних ресурсів мережі для подальшого їх розподілу.

3. Практичне застосування методу забезпечення ЕМС при розподілі просторово-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку дозволить підвищити відношення потужності сигналу до потужності завади і шуму на 30...45 дБ, та формувати вузькі промені діаграми спрямованості, що дає можливість передачі сигналів від АС на одній і тій же частоті, але в різних напрямках.

4. Практичне застосування методу забезпечення ЕМС при розподілі частотно-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку дозволяє в 2-3 рази скоротити смугу частот і забезпечити максимальну рівномірність якості в угрупованні рівнопріоритетних АС.

Обґрунтованість і достовірність отриманих у дисертації результатів

Досліджені і проаналізовані результати не суперечать сучасним досягненням науки, а в окремих випадках результати співпадають з відомими. Разом з тим, новизна результатів підтверджується новим підходом, коректним використанням нових моделей, теоретичних методів і методикою їх аналізу. Результати і висновки дисертаційної роботи базуються на фундаментальних положеннях радіофізики, теорії радіозв'язку математичної статистики та теорії ймовірностей і інших широко апробованих сучасних методах досліджень, тому достовірність отриманих здобувачем результатів не викликає сумнівів.

Особистий внесок здобувача

Наукові результати, наведені в дисертаційній роботі, здобувач отримав самостійно. Автору належить розробка методу оцінки матриці каналу систем бездротового радіодоступу, розробка математичної моделі радіоканалу для МІМО-систем, розробка методу виявлення сигналів первинних користувачів в когнітивних радіомережах та проведення порівняльного аналізу ефективності алгоритмів виявлення сигналів. Також автору належить розробка методу забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі частотного ресурсу в мобільних системах зв'язку, оцінка пропускнуої здатності мережі, розробка ітераційних алгоритмів демодуляції сигналів з просторово-часовим кодуванням, проведення аналізу ефективності просторово-часових кодів, проведення аналізу пропускнуої здатності мережі при використанні просторово-часового доступу.

Основні результати опубліковано в 20 наукових працях: з них 2 статті за кордоном, 6 статей в вітчизняних фахових науково-технічних виданнях. Апробація результатів дисертаційної роботи проходила на 12-и Міжнародних конференціях високого професійного рівня. Всі публікації та виступи за темою дисертації.

Оцінка змісту і завершеності дисертації

Дисертація носить завершений характер науково-дослідної роботи та подана у вигляді вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг роботи 135 сторінок з них: 41 рисунок, 1 таблиця.

У вступі дисертаційної роботи чітко сформульовані наукова задача, мета і задачі дослідження, об'єкт дослідження, предмет дослідження та використання методів дослідження, надано загальну характеристику роботи, розкрито сутність та обґрунтовано необхідність проведення роботи, описано структуру дисертації.

В першому розділі представлено аналіз актуальності теми досліджень та напрацювання інших вчених в даному напрямку. Проведено аналіз електромагнітної сумісності при розподілі ресурсів мережі мобільного зв'язку стандарту LTE-A, як одного з перспективних стандартів когнітивного радіо.

В другому розділі розроблено непараметричний алгоритм, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж та непараметричний алгоритм, який побудовано на математичному апараті нечіткої логіки. Проведено порівняльний аналіз ефективності розроблених алгоритмів з вже відомими, такими, як параметричний алгоритм оптимального прийому сигналів, який побудовано на критерії Вальда та непараметричний алгоритм, який побудовано на знако-ранговому критерії Вілкоксона. Дано рекомендації з їх використання.

В третьому розділі розроблено алгоритм концентрації, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж Кохонена. Кластеризацію ресурсів запропоновано здійснювати за векторами ознак: координати розташування АС, запитувані ресурси, доступні ресурси. Проведено порівняльний аналіз алгоритму кластеризації ресурсів, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж Кохонена та алгоритму нечіткої кластеризації на основі FCM. Дано рекомендації з їх використання.

В четвертому розділі розроблено метод забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі просторово-часового ресурсу в мережах мобільних зв'язку. Метод складається з вибору алгоритму адаптивної антенної решітки та використання просторово-часового доступу. Проведено аналіз ефективності запропонованого методу.

В п'ятому розділі розроблено метод забезпечення ЕМС при розподілі частотно-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку, який складається з алгоритму розподілу частотного ресурсу з повторним використанням частот і алгоритму розподілу частотного ресурсу, заснованому за критерії гарантованої якості зв'язку. Проведено аналіз ефективності даних алгоритмів.

За результатами оцінки тексту дисертаційної роботи можна зробити висновок, що твердження та результати, основні висновки, що подані в дисертаційній роботі, сумнівів не викликають.

Мова та стиль викладення наукових положень

Тема дисертації повністю відповідає її змісту та відображає суть розглянутих та вирішених наукових завдань. Дисертант логічно та аргументовано викладає результати досліджень і отримані ним наукові положення. Текст дисертації та автореферату написано грамотно, науково-

технічною мовою з застосуванням загальновизнаної термінології. Автореферат відповідає змісту дисертації та достатньо повно і послідовно розкриває основні положення дисертаційної роботи.

Зауваження і недоліки роботи

1. В розділі з аналізу електромагнітної сумісності при розподілі ресурсів в мережі мобільного зв'язку автор багато уваги приділяє технології множинного доступу OFDMA і OFDM модуляції. Але деякі з параметрів, які входять до OFDMA і OFDM автор в подальшому не використовує.

2. В розділі 2 при розробці алгоритмів виявлення сигналів первинних користувачів автор велику увагу надає розгляду вже існуючих алгоритмів таких як алгоритм виявлення сигналів, побудований на критерії Вальда та алгоритм виявлення, заснований на знако-ранговому критерії Віллоксона. На наш погляд доцільніше було б коротко визначити їх суть, переваги та недоліки.

3. Автором розроблено метод кластеризації ресурсів, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж Кохонена та запропоновано кластеризацію ресурсів здійснювати за векторами ознак: координати розташування абонентських станцій, запрошувани ресурси та доступні ресурси. Нажаль в роботі проведено тільки кластеризацію місцезнаходження абонентських станцій.

4. В роботі запропоновано метод просторово-часового доступу до базової станції. На жаль автор не проводить порівняльний аналіз цього методу доступу з уже існуючими методами, такими як кодовий, часовий, частотний.

5. Автор пропонує після використання алгоритму розподілу частотного ресурсу з повторним використанням частот для проведення аналізу якості зв'язку та винесення остаточного рішення про присвоєння частот абонентським станціям використовувати алгоритм розподілу частотного ресурсу із забезпеченням якості зв'язку. Проте в роботі не вказано, яким чином буде здійснюватись оцінка ймовірності правильного прийому сигналів для каналів зв'язку, зважаючи на те, що цей показник є ключовим при роботі алгоритму розподілу частотного ресурсу із забезпеченням якості зв'язку.

Вказані недоліки та зауваження не впливають на загальну високу оцінку дисертаційної роботи.

Загальний висновок щодо дисертації

В цілому дисертаційна робота Коляденка О.В. є завершеною науковою роботою, в якій поставлена та вирішена важлива для науки і практики наукова задача розробки методів забезпечення ЕМС при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку.

Дисертація відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі, а автореферат відображає основний зміст дисертації.

Висновок: Дисертація Коляденка Олексія Вадимовича повністю відповідає вимогам п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567, до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

Завідувач кафедри прикладної електродинаміки
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

доктор фізико-математичних наук професор

«17» травня 2018 р.

Підпис професора Горобця
Миколайовича засвідчую

Учений секретар Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна

«17» травня 2018 р.



М.М. Горобець



Н.А. Вінникова