

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри комп'ютерної інженерії Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка **Сокол Галини Вікторівни** на дисертаційну роботу **Коляденка Олексія Вадимовича** «**Методи забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку**», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Тематика дисертаційної роботи пов'язана з положеннями Закону України «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки», Закону України «Про телекомунікації», відповідно з пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки в межах Державної науково-технічної програми «Створення перспективних телекомунікаційних систем і технологій», положеннями «Концепції національної програми інформатизації», планами наукової, науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки.

В наш час, політика виділення радіочастотного спектру на практиці призводить до того, що пропускна спроможність в ліцензованій смузі частот стає недостатньою, а неліцензовані смуги частот використовуються нерационально. За висновками регулюючих органів США та деяких Європейських країн частотний ресурс використовується неефективно. Наприклад, смуги для рухомого зв'язку перевантажені, а смуги для прийому телебачення та радіомовлення завантажені не повністю.

Когнітивне радіо пропонує рішення, в якому можливе спільне використання спектра різних технологій радіодоступу. Відповідно до концепції когнітивного радіо, вторинне використання спектра засноване на безперервному моніторингу радіоелектронної обстановки в точках розміщення радіозасобів з метою виявлення і використання вільних смуг частот. При цьому передбачається наявність і облік даних про режими роботи, точки розміщення і зони покриття радіомереж ліцензованих користувачів виділеної смуги частот (первинних користувачів). Важливість



останньої вимоги обумовлена необхідністю забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) між мережами, що використовують спектр на вторинній (динамічній) основі і безпроводових мереж первинних користувачів (що працюють на закріплених частотах). Таким чином, розробка методів забезпечення ЕМС при когнітивному розподілі ресурсів в мережі мобільного зв'язку є **актуальною науковою задачею**.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Високу ступінь обґрунтованості наукових результатів в роботі показано завдяки послідовній викладці результатів досліджень у кожному розділі.

У першому розділі виділено основні сценарії використання систем когнітивного радіо. Показано, що системи когнітивного радіо можуть бути реалізовані з використанням безпроводового доступу на базі LTE, Wi-MAX, IEEE 802.22 або інших стандартів. Показано, що одним з перспективних є стандарт LTE-A. У даному розділі проведено аналіз розподілу ресурсів в LTE-A і методів забезпечення ЕМС систем когнітивного радіо. Показано, що розподіл фізичних ресурсів в LTE-A ґрунтується на MIMO-OFDMA. Методи забезпечення ЕМС систем когнітивного радіо будуються на основі геолокаційної бази даних та спектрального зондування.

Обґрунтовано наукові задачі, які необхідно вирішити для забезпечення ЕМС при когнітивному розподілі ресурсів в мережі мобільного зв'язку.

У другому розділі показано, що працездатність мобільних мереж зв'язку при когнітивному розподілі ресурсів в значній мірі залежить від ефективності роботи алгоритмів виявлення незайнятих частотних каналів. Розроблено, непараметричний та параметричний алгоритм, побудований відповідно на математичному апараті нейронних мереж та апараті нечіткої логіки. Проведено порівняльний аналіз ефективності непараметричних алгоритмів (що побудовані на математичному апараті нечіткої логіки за знакоранговим критерієм Вілкоксона та параметричного – (за критерієм Вальда). Показано, що при низьких значеннях відношення сигнал/шум (ВСШ) кращі показниками має алгоритм, побудований на математичному апараті нейронної мережі Кохонена. Зі збільшенням ВСШ найменша ймовірність помилки відзначається при використанні алгоритму Вальда. Показано, що при апіорній невизначеності щодо параметрів сигналів

первинного користувача рекомендується використовувати алгоритм, побудований на нейронній мережі Кохонена. Автор стверджує, якщо параметри сигналів первинного користувача відомі і є в базі даних, а також ВСШ перевищує - 3 дБ рекомендується використання алгоритм Вальда.

У третьому розділі розроблено метод кластеризації ресурсів, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж Кохонена. Кластеризацію ресурсів, автор пропонує здійснювати за векторами ознак: координати розташування абонентських станцій (АС), запитувані ресурси та доступні. Проведено порівняльний аналіз алгоритму кластеризації, побудованому на математичному апараті нейронних мереж Кохонена з існуючим алгоритмом нечіткої кластеризації. З проведеного аналізу автор робить висновок про те, що алгоритм, побудований на математичному апараті нейронної мережі Кохонена, і алгоритм нечіткої кластеризації дають однаковий результат. Але алгоритм нечіткої кластеризації вимагає попереднього визначення меж кластерів для визначення їх кількості, що підвищує обчислювальну складність методу. Таким чином, для кластеризації ресурсів АС автором запропоновано використовувати алгоритм, який побудовано на математичному апараті нейронної мережі Кохонена.

Четвертий розділ присвячено розробці методу забезпечення ЕМС при розподілі просторово-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку. Розроблено математичну модель радіоканалу для МІМО технології, що враховує структурні властивості приймальної антени, напрямки приходу сигналів за основним і за відбитими променями. Для оцінки матриці каналу мереж мобільного зв'язку з використанням технології МІМО запропонована процедура Калмана-Бьюсі. Розроблено метод забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі просторово-часового ресурсу в мережах мобільного зв'язку. Метод складається з вибору алгоритму адаптивної антенної решітки та розробки просторово-часового доступу. В якості алгоритму адаптивної антенної решітки запропоновано алгоритм, який синтезовано для динамічної сигнально-завадової обстановки. Розроблено просторово-часовий доступ на основі модифікованої технології МІМО. На основі розробленої математичної моделі радіоканалу проведено аналіз ефективності розробленого просторово-часового доступу. За результатами аналізу автором показано,

що відношення сигнал/завада+шум (ВСЗШ) на виході адаптивної антенної решітки, яка входить в схему організації просторово-часового доступу вдається підвищити на 30...45 дБ по відношенню до ВСЗШ на її вході, що забезпечить внутрішньосистемну EMC мережі. Автором показана можливість формування вузьких променів діаграми спрямованості, що дає можливість передачі сигналів АС на одній і тій же частоті, але в різному напрямку.

У п'ятому розділі розроблено метод забезпечення EMC при розподілі частотно-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку.

Запропоновано алгоритм розв'язання задачі оптимізації розподілу частотного ресурсу для мережі мобільного зв'язку з повторним використанням частот. Проведено аналіз ефективності алгоритму оптимізації розподілу частотного ресурсу для мережі LTE. За результатами проведеного аналізу автор робить висновок про те, що використання даного алгоритму дозволяє в 2-3 рази скоротити смугу частот.

Запропоновано алгоритм розподілу частотного ресурсу із забезпеченням якості зв'язку. Відповідно до цього алгоритму призначення частот в угрупованні АС при однакових вимогах до якості зв'язку здійснюється за максимінним критерієм, тобто в якості критерію приймається максимум якості зв'язку в каналі зв'язку, утвореному АС з найгіршою сигнально-завадовою обстановкою. Проведено аналіз ефективності цього алгоритму. За результатами аналізу автор стверджує, що при розподілі частот за максимінним алгоритмом середнє значення ймовірності правильного прийому залишається практично незмінним при збільшенні необхідних каналів зв'язку.

Достовірність і новизна наукових положень, висновків і рекомендацій

Метою дослідження є забезпечення EMC при когнітивному розподілі ресурсів в мережі мобільного зв'язку. Для досягнення цієї мети в роботі вирішені задачі:

- розроблено та досліджено алгоритми виявлення сигналів первинних користувачів;
- розроблено та досліджено методи кластеризації ресурсів в мережі мобільного зв'язку;

- розроблено та досліджено методи забезпечення електромагнітної сумісності при розподілі просторово-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку;

- розроблено та досліджено методи забезпечення електромагнітної сумісності при розподілі частотно-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку.

Методи досліджень базуються на основних положеннях радіофізики, системного аналізу, теорії електрозв'язку, методах просторово-часової обробки сигналів, управління в адаптивних антенних решітках, математичному апараті нечіткої логіки, математичному апараті нейронних мереж, математичної статистики, теорії ймовірностей, теорії оптимізації, теорії оцінювання та управління, теорії розладнання, математичного та імітаційного моделювання.

На підставі сформульованих завдань в роботі розв'язано ряд наукових задач та отримані нові наукові результати:

1. Вперше розроблено метод моніторингу спектра, в основу якого покладено непараметричний алгоритм виявлення сигналів, заснованому на математичному апараті нейронних мереж. Проведено порівняльний аналіз ефективності запропонованого алгоритму з вже відомими алгоритмами виявлення сигналів: алгоритму, побудованому на критерії Вальда і алгоритму виявлення, заснованому на знакоранговому критерії Вілкоксона. На відміну від існуючих алгоритмів запропонований має меншу ймовірність помилки та потребує менше апіорної інформації щодо параметрів первинних користувачів.

2. Вперше розроблено метод кластеризації ресурсів, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж Кохонена. Даний метод на відміну від методу, заснованому на теорії розладнання з подальшою нечіткою кластеризацією вимагає менших обчислювальних витрат і часу та не поступається в ефективності його використання.

3. Вперше розроблено метод забезпечення ЕМС при розподілі просторово-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку, який засновано на вирішенні задачі просторово-часового доступу абонентських станцій до базової станції. Даний метод доступу на відміну від існуючих таких як кодовий, часовий, частотний дає можливість економити радіочастотний

ресурс, збільшити число споживачів в умовах значного частотного завантаження.

4. Вперше розроблено метод забезпечення EMC при розподілі частотно-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку, який складається з алгоритму з повторним використанням частот і алгоритму, заснованому за критерії гарантованої якості зв'язку. Використання даного методу дозволяє скоротити смугу частот і забезпечить максимальну рівномірність якості зв'язку.

Практична цінність дисертаційної роботи

Використання запропонованого методу моніторингу спектра та використання алгоритму виявлення сигналів первинних користувачів дає можливість використання спектру на вторинній основі та забезпечення міжсистемної EMC.

Застосування методу кластеризації ресурсів дасть можливість позиціонувати АС і виявити зони аномальної зміни їх концентрації та у разі перенавантаження мережі в одній частині зони обслуговування задіяти ресурси з менш завантаженої її частини.

Застосування методу забезпечення EMC при розподілі просторово-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку дозволить підвищити відношення потужності сигналу до потужності завади і шуму на вході приймача на 30 ... 45 дБ, що забезпечить внутрішньосистемну EMC мережі та дає можливість передачі сигналів АС на одній і тій же частоті, але в різному напрямку.

Застосування методу забезпечення EMC 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.

Практичну цінність наданій дисертаційній роботі додає те, що дослідження автора дисертації виконані в рамках науково-дослідної роботи, яка проводилася в Харківському національному університеті радіоелектроніки. Результати досліджень увійшли до складу науково-технічного звіту про науково-дослідну роботу №308 "Нитка-3" (номер держреєстрації 0116U0000662).

Повнота викладення здобувачем основних результатів

Матеріали дисертаційної роботи викладено в 20 публікаціях, зокрема, у 8 статтях, з них 2 статті у міжнародних виданнях, 12 тезах доповідей на наукових міжнародних конференціях. Отже, слід вважати викладення здобувачем основних результатів повним.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату

Робота має вступ, п'ять розділів, висновки та додатки. Обсяг дисертації без додатків становить 135 сторінки, 41 рисунок, 1 таблиця, 97 бібліографічних джерел, додатки на 6 сторінках. Обсяг дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт технічних галузей знань. Дисертаційну роботу написано грамотно, на доброму стилістичному рівні. Застосована в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи, написаний грамотно та з використанням сучасної наукової термінології. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату в цілому відповідає вимогам державних стандартів України.

Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату:

1. При аналізі ефективності запропонованих алгоритмів виявлення сигналів первинних користувачів автор не вказує тривалість спостереження для кожного з алгоритмів.

2. При кластеризації місцезнаходження абонентських станцій, автор проводить порівняльний аналіз запропонованого методу, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж Кохонена з методом нечіткої кластеризації. В роботі доцільно було б розглянути і інші методи позиціонування, наприклад метод RSSI, метод TOA, метод AOA та інші.

3. При розробці просторово-часового доступу автор рекомендує використовувати адаптивні антенні решітки з кількістю антенних елементів від 4-х до 15-ти. Проте автор не уточнює до яких станцій ці рекомендації відносяться: до базових, чи абонентських.

Вказані недоліки та зауваження носять методичний характер та не зменшують наукову та практичну цінність результатів дисертаційної роботи.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Коляденка Олексія Вадимовича на тему «Методи забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку», яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі, містить наукові положення та науково обгрунтовані результати, а саме - дослідження характеристик параметрів телекомунікаційних систем і мереж і методів їх поліпшення; розроблення принципів побудови пристроїв і систем передачі інформації по радіоканалам зв'язку; розроблення методів підвищення пропускнуої спроможності, завадостійкості, якості та надійності функціонування систем передачі дискретних і аналогових повідомлень у каналах зв'язку з постійними, змінними та випадковими параметрами, що відповідає паспорту спеціальності 05.12.02.

В дисертації розв'язано важливу науково-прикладну задачу: забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку.

Загальний висновок

1. У дисертаційній роботі Коляденка Олексія Вадимовича розв'язано актуальну наукову задачу щодо підвищення ефективності методів забезпечення електромагнітної сумісності при розподілі частотно-часового та просторово-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку.

2. За ступенем обгрунтованості, наукової новизни та практичної значимості отриманих у роботі результатів дисертація Коляденка О. В. відповідає положенням «Порядку присудження наукових ступенів».

3. Здобувач, Коляденко Олексій Вадимович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 "Телекомунікаційні системи та мережі".

Офіційний опонент,
доцент кафедри комп'ютерної інженерії
Полтавського національного технічного
університету імені Юрія Кондратюка,
кандидат технічних наук, доцент



Г.В. Сокол

Підпис Сокол Г. В. засвідчую:
перший проректор – проректор
з науково-педагогічної роботи
Полтавського національного технічного
університету імені Юрія Кондратюка,
доктор технічних наук, доцент



Б.О. Коробко