

ВІДГУК офіційного опонента

на дисертаційну роботу Янишина Володимира Богдановича на тему “Моделі та алгоритми управління радіочастотним спектром в когнітивних радіомережах”, поданої до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

1. Актуальність теми дисертації

Сучасні безпроводні мережі характеризуються статичною політикою розподілу спектру, за якої державні установи призначають власникам ліцензій на довгостроковій основі певні смуги спектру для використання у великих географічних регіонах. Останнім часом у зв'язку зі збільшенням потреб у частотних ресурсах, ця політика стикається з дефіцитом вільного спектру в окремих смугах. Ускладнення безпроводних телекомунікаційних систем призводить до постійного удосконалення методів контролю за використанням обмеженого частотного ресурсу. Для вирішення цих проблем запропоновані динамічні методи доступу до спектральних смуг, які дозволяють використовувати вільні частини спектру в моменти їх простою. Завади від одночасного використання в одному діапазоні частот декількох передавачів можуть призвести до значних спотворень переданої інформації і значно ускладнити роботу телекомунікаційних систем різного призначення. Одним із можливих шляхів розв'язання цієї проблеми є впровадження технології когнітивного радіо. Системи, що побудовані за принципами когнітивного радіо використовують на вторинній основі не зайняті в даний час частини спектру (так звані "мертві зони" спектру) або враховують особливості сигналу від первинної мережі для співпраці з нею. Основним критерієм для таких систем є відсутність завад для первинної мережі.

Когнітивне радіо являє собою інтелектуальну радіосистему з механізмом самоуправління, яке може динамічно та автономно змінювати свої робочі параметри, базуючись на взаємодії з навколишнім середовищем, в якому система працює. Механізм самоуправління визначається здатністю самонавчання і елементами штучного інтелекту. Система когнітивного радіо вивчає особливості взаємодії у навколишньому середовищі передавання для отримання інформації про його поточний стан, має здатність інтелектуально аналізувати отриману інформацію про стан радіосередовища та вміння адаптивно змінювати конфігурацію системи при зміні параметрів радіосередовища. При використанні когнітивної радіомережі повинна забезпечуватися висока пропускна здатність для мобільних користувачів, зокрема – за допомогою гетерогенної архітектури бездротової мережі і методів динамічного доступу до спектру.

У зв'язку з цим, тематика дисертаційної роботи Янишина Володимира Богдановича, яка присвячена підвищенню рівня якості сервісів, що надаються когнітивними мережами та покращенню ефективності використання обмеженого радіочастотного ресурсу за допомогою удосконалення та створення ефективних методів та алгоритмів управління використанням радіочастотного спектру є актуальною.

2. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота Янишина Володимира Богдановича стосується наукового завдання розроблення ефективних методів та алгоритмів управління радіочастотним спектром в когнітивних радіомережах для підвищення рівня якості сервісів, що ними надаються.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків. Загальний обсяг роботи складає 158 сторінок друкарського тексту, із них: 7 сторінок вступу, 103 сторінки основного тексту, 46 рисунків, 9 таблиць, список використаних джерел зі 107 найменувань, додатки на 13 сторінках.

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано всі процедурні положення та представлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У **першому розділі** проведено аналіз, класифікацію і порівняння традиційних радіосистем, радіосистем з програмованими параметрами і систем з використанням технології когнітивного радіо. Розглянуто функціональну структурну схему та описано цикл роботи когнітивного радіо. Представлено мережеву архітектуру когнітивної радіомережі та суть невирішених проблем щодо безпроводного доступу на її основі, основні компоненти якої можна класифікувати на групи: основна (первинна, ліцензована) мережа та другорядна (вторинна, неліцензована) мережа, якою є когнітивне радіо. Проаналізовано проблеми функціональних можливостей і вимоги, які накладаються на когнітивну радіомережу. Визначено ряд унікальних завдань внаслідок невизначеності потенційно доступного спектру, а також через існування різних вимог до якості обслуговування (QoS), що пред'являються різними користувачькими додатками.

У **другому розділі** визначено основні функції процесу управління використанням спектру, що складається з чотирьох основних етапів: сканування спектру, вибір смуг спектру, спільне використання спектру і забезпечення мобільності спектру. Проведено порівняльний аналіз ефективності методів сканування радіочастотного спектру по параметрах ймовірності виявлення та ймовірності помилкового виявлення передавання. Запропоновано методика вибору радіочастотного спектру та процедуру прийняття рішення системою керування когнітивної радіомережі на основі показника тривалості прийняття системного рішення. Визначено два основні критерії при перемиканні частотного каналу: ймовірність того, що теперішній і цільовий канали зайняті або простоюють та очікувана

тривалість періоду простою каналу. Запропоновано реактивний та проактивний методи забезпечення мобільності радіочастотного спектру при процесі передавання обслуговування спектру.

У третьому розділі роботи розроблено імітаційну модель системи керування когнітивною радіомережею із можливістю широкого і гнучкого налаштування вхідних параметрів, вибору методів управління радіочастотним спектром та з можливістю подальшого удосконалення. Проведено удосконалення методу сканування спектру та оцінки спектральної густини потужності, що базується на виявленні енергії за допомогою періодограми Уелча із динамічною зміною кількості часових сегментів та частотних відліків усереднення вхідного сигналу. Розроблено алгоритми реалізації методів вибору радіочастотного спектру з використанням балансування вхідного навантаження на основі сканування параметрів частотного каналу і на основі оцінювання ймовірності його зайняття. Запропоновано покращений алгоритм проактивного протоколу передавання смуг спектру для обслуговування користувачів, що базується на попередньому прогнозуванні стану частотного каналу із використанням статистичних даних про його використання.

У четвертому розділі проведено дослідження ефективності сканування спектру для одного користувача КР та при кооперативному скануванні. Проведено моделювання методу виявлення енергії сигналу первинного користувача за допомогою періодограми Уелча для суміші адитивного білого Гаусівського шуму і QPSK маніпульованого сигналу. Проведено моделювання процесу мобільності спектру для визначення залежності середнього значення пропускної спроможності для когнітивного користувача і ймовірності виникнення колізії від завантаженості первинної мережі. Проведено моделювання сумарної пропускної спроможності когнітивної радіомережі на основі інтелектуальної імітаційної моделі з використанням удосконалених методів управління радіочастотним спектром для порівняння з моделлю без такого вдосконалення.

В додатку до роботи подано акти впровадження результатів роботи, наведено фрагменти програмного коду комплексу системи керування використанням спектру когнітивного радіо, список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Янишина Володимира Богдановича підтверджуються коректним використанням теоретичних та експериментальних методів досліджень, зокрема методів математичного моделювання, а також актами впровадження результатів дисертаційних досліджень.

4. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

У ході розв'язання поставленої наукової задачі здобувачем отримані наступні основні наукові результати:

1. Вперше запропоновано імітаційну модель системи керування когнітивною радіомережею, яка відрізняється від існуючих інтелектуальними та адаптивними властивостями, а саме прогнозуванням стану радіочастотних каналів на основі їх моніторингу та збору статистичних даних про функціонування їх фізичного, каналного і транспортного рівнів, що дало змогу підвищити ефективність використання радіочастотного ресурсу, зокрема покращити показники якості надання послуг.

2. Набув подальшого розвитку метод виявлення енергії сигналу на основі періодограми Уелча, який відрізняється від існуючих динамічною зміною кількості елементів зсуву періодограми, кількості часових сегментів та частотних відліків усереднення, що дало змогу підвищити ефективність сканування радіочастотного спектру.

3. Удосконалено модель вибору радіочастотного каналу, що відрізняється від існуючої використанням методів балансування вхідного навантаження на основі врахування ймовірності зайняття каналу і сканування його параметрів, що дало змогу покращити швидкодію системи керування когнітивною радіомережею.

Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях

За результатами досліджень, які викладено у дисертаційній роботі, опубліковано 13 наукових праць, серед них 1 стаття у закордонному фаховому виданні, що індексується міжнародними науково-метричними базами, 4 статті у наукових фахових виданнях України та 13 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій.

5. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Автореферат дисертації ідентично та повністю розкриває зміст дисертаційної роботи, яка, в цілому, відповідає усім вимогам до кандидатських дисертаційних робіт, має завершеність, виконана та оформлена на достатньо високому рівні. Стель викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх якісного сприйняття.

6. Важливість для науки і народного господарства одержаних результатів та шляхи їх використання

У дисертаційній роботі розроблено:

- програмний комплекс для реалізації імітаційної моделі системи керування когнітивною радіомережею, який дає змогу проводити

дослідження та порівняння ефективності роботи алгоритмів сканування, вибору, спільного використання та забезпечення мобільності спектру;

- алгоритм реалізації методу сканування спектру з кооперативною співпрацею когнітивних користувачів, що дало змогу знизити ймовірність помилкової тривоги та ймовірність невиявлення первинного користувача;

- алгоритм реалізації методу вибору радіочастотного спектру на основі балансування вхідного навантаження, що дало змогу мінімізувати тривалість прийняття системою рішення про розподіл радіоканалів на 20% і більше, ніж на 50%, за умови високого вхідного навантаження;

- Запропоновано удосконалений алгоритм для реалізації проактивного протоколу передавання спектру для обслуговування користувачів з використанням статистичних даних про функціонування системи та попереднього прогнозування стану радіочастотного каналу, що дало змогу покращити пропускну спроможність системи когнітивного радіо на 25% і майже вдвічі знизити ймовірність виникнення колізії між первинними та когнітивними користувачами.

Результати роботи можуть бути використаними спеціалізованими проектними організаціями у галузі телекомунікацій, зокрема радіозв'язку, а також операторами мобільного зв'язку.

У додатку подано акти використання результатів дисертаційної роботи у промисловості та навчальному процесі, які підтверджують їх достовірність.

7. Зауваження до дисертаційної роботи

1. Певні зауваження викликає структура та розподіл матеріалу досліджень по розділах. Зокрема, перший розділ перенасичений загальним оглядовим матеріалом, а також структурному та функціональному опису моделей присвячений лише один розділ.

2. У тексті роботи варто більш зрозуміло виокремити особистий внесок автора у апарат та методику дослідження. Зокрема у другому розділі дисертаційної роботи.

3. В третьому розділі дисертації представлено імітаційні моделі процесу виявлення енергії за допомогою періодограми Уелча, процесу оцінювання ефективності методів вибору спектру (рис. 3.7, 3.9 дисертації), проте не надано детального опису усіх їх структурних блоків, наприклад таких, як база даних та система керування когнітивною радіомережею.

4. Не чітко виокремлено ступінь підвищення якості обслуговування у когнітивних радіомережах із використанням запропонованих автором моделей та алгоритмів та опис способу досягнення цього підвищення.

5. За обсягом четвертий розділ дещо замалий у порівнянні з третім.

6. В дисертації наявні незначні стилістичні, орфографічні помилки та описки.

Зазначені недоліки не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

8. Загальні висновки

1. На підставі розгляду дисертації, автореферату, праць здобувача, актів впровадження, аналізу ступеня новизни наукових положень та практичної значимості отриманих у роботі результатів, висновків та рекомендацій впливає висновок, що дисертаційна робота Янишина Володимира Богдановича “Моделі та алгоритми управління радіочастотним спектром в когнітивних радіомережах” є завершеною науковою працею, в якій отримано нові наукові результати, що, в сукупності, забезпечили розв’язання актуального наукового завдання в галузі телекомунікацій.

2. Дисертаційна робота та її автореферат за змістом та оформленням відповідають встановленим вимогам. Результати дисертації достатньо повно опубліковані у фахових наукових виданнях та апробовані на конференціях і семінарах.

3. Дисертаційні дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

4. Автореферат повністю та ідентично розкриває зміст дисертації.

4. Вважаю, що представлена дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» Кабінету Міністрів України, зокрема пп. 9, 11, 12, а її автор - Янишин Володимир Богданович – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри комутаційних систем
Одеської національної академії
зв'язку ім. О.С. Попова

А.Г. Ложковський

