

64-72-46/1
22.06.18

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора, професора кафедри інфокомунікаційної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки Коляденко Юлії Юріївни на дисертаційну роботу **Брича Миколи Володимировича "Моделі та алгоритми функціонування гетерогенних мереж мобільного зв'язку"**, подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

1. Актуальність теми дисертації

В останні роки провідні компанії на ринку рухомого безпроводного зв'язку активно працюють над впровадженням нових технічних рішень, які б дали змогу істотно підвищити пропускну здатність мереж мобільного зв'язку. Зокрема, провідними компаніями на ринку мобільного зв'язку активно ведуться роботи по впровадженню технологій п'ятого покоління. Одним із основних технічних рішень залишається фізична розбудова гетерогенної мережної інфраструктури шляхом розгортання додаткових рівнів покриття комірок з додатковими частотними смугами. Відповідно, постає задача ефективного розподілу частотних ресурсів між усіма комірками мережі з урахуванням навантаження та компромісу між пропускну здатністю та енергетичною ефективністю мережі.

Враховуючи ці тенденції, важливим аспектом є пошук нових частотних діапазонів для розширення доступного радіочастотного ресурсу та підвищення системної спектральної ефективності мережі радіодоступу. Проте, не всі частотні діапазони можуть бути ефективно використані для організації радіозв'язку, через неприйнятні характеристики поширення хвиль. Найбільш прийнятні частотні діапазони вже використовуються різними існуючими технологіями радіодоступу. Тому, тема дисертаційної роботи, яка присвячена дослідженню варіантів адаптивного використання одного частотного діапазону кількома технологіями радіодоступу на сьогоднішній час є надзвичайно актуальною.

2. Загальна характеристика роботи

Дисертація Брича Миколи Володимировича присвячена вирішенню завдання розроблення моделей та алгоритмів адаптивного використання радіочастотних ресурсів ліцензійного та неліцензійного діапазонів у мережах мобільного зв'язку за наявності кількох конкуруючих операторів зв'язку та

високої гетерогенності технологій радіодоступу, типів пристроїв та вимог до параметрів якості передавання даних.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Робота викладена на 160 сторінках, включаючи 105 сторінок основного тексту. Перелік використаних джерел містить 155 найменувань.

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

У першому розділі проведено аналіз останніх релевантних робіт та існуючих концепцій розвитку гетерогенних мереж мобільного зв'язку, встановлено вимоги до стандартів п'ятого покоління та визначено ключові фактори, які впливають на пропускну здатність мережі мобільного зв'язку, такі як: кількість базових станцій, доступні радіочастотні ресурси та спектральна ефективність радіоканалів.

У другому розділі запропоновано удосконалений метод випадкового доступу з прослуховуванням середовища для підвищення ефективності функціонування мереж LTE у неліцензійному частотному діапазоні, який поєднує механізм випадкового доступу до радіоканалу із детермінованим розподілом каналів у мережі LTE. Запропоновано кооперативну ігрову модель для спільного використання радіочастотних ресурсів неліцензійного діапазону кількома операторами LTE. Запропоновано новий метод випадкового доступу з координованим прослуховуванням середовища абонентами LTE, який базується на основі технології D2D (Device-to-Device), що дає змогу використовувати значно менше часове вікно прослуховування середовища при забезпеченні низького значення ймовірності появи колізій.

У третьому розділі роботи проведено моделювання гетерогенної мережі мобільного зв'язку в умовах адаптивного використання радіочастотних ресурсів неліцензійного діапазону. Отримані результати показали перевагу запропонованих методів з точки зору інтерференційних завад між мережами Wi-Fi та LTE. Зокрема, при використанні запропонованого методу випадкового доступу, значення SINR для абонентів LTE та Wi-Fi є вищими у 5-10 разів за рахунок зниження кількості колізій у гетерогенній мережі. Результати моделювання мережі з використанням методу координованого прослуховування показали, що ймовірність виникнення колізій між абонентами LTE та Wi-Fi знижується до 10 разів, у порівнянні зі звичайним методом випадкового доступу.

У четвертому розділі дисертації запропоновано новий підхід до практичної реалізації процесу розподілу радіочастотних ресурсів шляхом поєднання площини управління з системою комплексного моніторингу мережі. Запропоновано чотирьох-площинну архітектуру гетерогенної мережі,

яка складається з площини радіодоступу, площини ядра, площини управління і площини моніторингу. Така архітектура дає змогу підвищити ефективність управління радіочастотними ресурсами, балансування навантаження, маршрутизації трафіку, управління мобільністю та планування покриття, застосовуючи наявні дані моніторингу мережі.

У додатках до роботи подано акти впровадження її результатів та список праць автора, у яких відображені результати дисертаційної роботи.

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

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Брича Миколи Володимировича, впливають з наступного:

- отримані результати не суперечать класичним положенням теорії систем безпроводного зв'язку;
- достовірність отриманих здобувачем науково-практичних результатів засвідчено актами впровадження;
- отримані нові результати гармонійно доповнюють відомі;
- матеріали дисертації обговорювались на 10 міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях, а також на наукових семінарах, і отримали схвальну оцінку.

4. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

1. Вперше запропоновано модель спільного використання радіочастотних ресурсів кількома операторами мобільного зв'язку на основі кооперативної стратегії теорії ігор, яка, на відміну від існуючих, враховує поточні потреби різних операторів у пропускній здатності, що дало змогу підвищити ефективність використання ресурсів в умовах одночасного функціонування мереж LTE у неліцензійному частотному діапазоні.

2. Вперше запропоновано метод випадкового доступу з координованим прослуховуванням середовища абонентами LTE, який, на відміну від існуючих, групує абонентів у D2D кластери, що дало змогу знизити рівень інтерференційних завад у гетерогенній мережі мобільного зв'язку за рахунок зменшення кількості колізій між абонентами LTE у неліцензійному частотному діапазоні.

3. Набув подальшого розвитку метод випадкового доступу з прослуховуванням середовища шляхом його адаптації до структури кадру LTE на каналному рівні, що дало змогу підвищити сумарну пропускну здатність гетерогенної мережі мобільного зв'язку за рахунок адаптивного використання неліцензійних радіочастотних ресурсів.

5. Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях

Основні результати, які отримані в дисертаційній роботі, опубліковано у 18 наукових публікаціях, серед яких 7 статей у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття у виданні, рекомендованому МОН України, 10 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій. Опубліковані праці повністю висвітлюють матеріали дисертаційної роботи.

Результати дисертаційної роботи Брича М.В. пройшли всебічну апробацію на семінарах та конференціях, в тому числі міжнародних, і отримали схвалення провідних фахівців телекомунікаційної галузі.

6. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Оформлення дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт, а також чинним вимогам Постанов Кабінету Міністрів України. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює всі отримані результати, сформульовані висновки та запропоновані рекомендації. Стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

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

1. Розроблено алгоритм адаптивного використання неліцензійних частотних каналів абонентами LTE, який знизив рівень інтерференційних завад між абонентами LTE та Wi-Fi у неліцензійному частотному діапазоні, що дало змогу підвищити співвідношення сигнал/шум для абонентів від 10 до 15 дБ.

2. Розроблено алгоритм адаптивної агрегації радіочастот ліцензійного та неліцензійного діапазонів, який дає змогу вдвічі підвищити пікову пропускну здатність для абонентів гетерогенної мережі мобільного зв'язку.

3. Запропоновано алгоритм адаптивного вибору часового вікна для методу випадкового доступу з координуваним прослуховуванням середовища, який дає змогу знизити кількість колізій до 10 разів, шляхом використання ортогональних значень адаптивного часового вікна для окремих D2D груп.

4. Запропоновано імітаційну модель просторового аналізу активності абонентів у гетерогенній мережі мобільного зв'язку, яка дає змогу досягти підвищення ефективності використання радіочастотних ресурсів на 30% та знизити обчислювальну складність алгоритму резервування ресурсів.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використано в

навчальному процесі, в лекційних курсах і лабораторних роботах, які проводяться для студентів кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка».

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

8. Зауваження до дисертаційної роботи

1. В роботі не розглядаються методи та алгоритми виявлення сигналів первинних користувачів. Тому не зрозуміло яким чином буде здійснюватись розподіл частотного ресурсу в ліцензованому діапазоні частот.

2. У роботі не приведено чисельної оцінки впливу колізії між абонентами LTE та Wi-Fi на величину співвідношення сигналу до шуму та інтерференційних завад. Таким чином, не зовсім зрозуміло, на скільки критичними є колізії для гетерогенних мереж такого типу.

3. На рис. 2.14 представлено принцип логічного розділення неліцензійного спектру між операторами мобільного зв'язку за пріоритетом доступу. Проте, незрозуміло яким чином передавальні пристрої визначають, зайнятість каналів зв'язку пристроями Wi-Fi та LTE.

4. В роботі не наведено порівняння обчислювальної складності виразу (2.3) для різної кількості конкуруючих операторів та доступних каналних інтервалів.

5. Метод координованого прослуховування середовища у підрозділі 2.6 доцільніше було б представити у вигляді блок-схеми.

6. 3-й розділ моделювання та дослідження показників ефективності використання радіочастотних ресурсів у гетерогенних мережах мобільного зв'язку перевантажено відомою інформацією, яку доцільніше було б надати в 1-му розділі.

7. 4-й розділ щодо практичної реалізації гетерогенної мережі мобільного зв'язку з програмним управлінням радіочастотними ресурсами містить аналіз вже існуючих методів, тому не зовсім зрозуміло чи запропонована модель 4-х площинна архітектура гетерогенної мережі мобільного зв'язку запропонована автором, чи була відома раніше.

8. При розробці методів та алгоритмів функціонування гетерогенних мереж мобільного зв'язку доцільно було б використати просторово-часову обробку сигналів, що дало б змогу значно підвищити пропускну здатність мережі.

Загальні висновки

1. Дисертаційна робота Брича Миколи Володимировича є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, важливі для подальшого розвитку гетерогенних мереж мобільного зв'язку.

2. Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих у дисертаційній роботі, має практичну цінність і становить вирішення наукової задачі розроблення моделей та алгоритмів адаптивного використання радіочастотних ресурсів ліцензійного та неліцензійного діапазонів у мережах мобільного зв'язку за наявності кількох операторів зв'язку та високої гетерогенності технологій радіодоступу, типів пристроїв і вимог до параметрів якості передавання даних.

3. Дисертаційна робота за змістом відповідає вимогам Паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

4. Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях, наукових семінарах, висвітлені в наукових публікаціях.

5. Автореферат об'єктивно і з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації.

6. Структура дисертації є обґрунтованою.

7. Наведені зауваження не змінюють загальну позитивну оцінку наукової значимості і практичної цінності дисертаційної роботи.

Висновок: Дисертаційна робота Брича Микола Володимирович 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

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інфокомунікаційної інженерії
Харківського національного
університету радіоелектроніки

Ю.Ю. Коляденко

Підпис д.т.н., професора Коляденко Ю.Ю. засвідчую,

Учений секретар
Харківського національного
університету радіоелектроніки



І.В. Магдаліна