

ВІДГУК
офіційного опонента

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

Актуальність теми.

Сучасні мережі мобільного зв'язку четвертого покоління знаходяться на стадії модернізації у напрямку стандартів п'ятого покоління. Стандартизація мереж 5G потребує поєднання значної кількості різноманітних підходів, що визначаються багатозадачністю сценаріїв обслуговування користувачів та складністю методів управління радіочастотними ресурсами. На відміну від класичних безпроводних систем, перед гетерогенними мережами 5G поставлене завдання ефективного управління різнорідними мережними пристроями, які взаємодіють між собою, що дозволить задовольняти динамічні запити користувачів з високим рівнем якості обслуговування. Це, в свою чергу, потребує об'єднання різноманітних технологій радіодоступу та частотних діапазонів у єдину гетерогенну інформаційно-комунікаційну систему з надвисокою швидкістю передавання даних та підтримкою високої мобільності кінцевих користувачів, шляхом використання новітніх когнітивних технологій радіодоступу.

Робочі групи, які працюють над розробкою стандарту 5G прогнозують, що мережі п'ятого покоління повинні забезпечувати гігабітні швидкості передавання для кінцевих абонентів, враховуючи існуючі прогнози зростання обсягів трафіку до 2020 року. Проте, в умовах обмеженого спектрального ресурсу, завдання підвищення пропускної здатності у мережі суттєво ускладнюється, що потребує нових підходів до розподілу та використання радіочастотних ресурсів та організації процесу обслуговування кінцевих користувачів.

Загальна характеристика роботи

Дисертація Брича Миколи Володимировича спрямована на вирішення актуального наукового 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. Загальний обсяг роботи становить 160 аркушів, з яких 105 сторінок основного тексту. Список використаних літературних джерел містить 155 найменувань.

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

У першому розділі проведено аналіз поточного стану та тенденцій розвитку мереж мобільного зв'язку за напрямком стандартів п'ятого покоління. Визначено основні обмежуючі фактори для підвищення пропускної здатності мереж мобільного зв'язку, такі як обмеження радіочастотного ресурсу, проблематику розподілу спектру та ліцензування технологій радіозв'язку в Україні, відсутність єдиної площини управління гетерогенною мережною інфраструктурою.

У другому розділі отримав подальший розвиток 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. Вперше запропоновано модель спільного використання радіочастотних ресурсів кількома операторами мобільного зв'язку на основі теорії ігор, яка враховує поточні потреби оператора у пропускній здатності, що дає можливість підвищити ефективність використання радіочастотних ресурсів в умовах одночасного функціонування мереж LTE різних операторів у неліцензійному частотному діапазоні. Вперше запропоновано метод випадкового доступу з координуваним прослуховуванням середовища абонентами LTE, який, на відміну від відомих, групує абонентів у D2D кластери, що дає змогу знизити рівень інтерференційних завад у гетерогенній мережі мобільного зв'язку за рахунок зменшення кількості колізій між абонентами LTE у неліцензійному частотному діапазоні.

У третьому розділі проведено моделювання процесу функціонування гетерогенної мережі мобільного зв'язку в ліцензійному частотному діапазоні. Отримані результати показали перевагу запропонованих методів з точки зору ефективності функціонування мережі, у порівнянні із існуючими методами випадкового доступу та управління ресурсами.

У четвертому розділі запропоновано удосконалену систему управління радіочастотними ресурсами, яка виконує моніторинг параметрів

функціонування мережі мобільного зв'язку на основі кінцевих абонентських пристроїв на базі реалізації архітектури програмно-керованих мереж. Така концепція процесу управління дає змогу оперувати більш повною інформацією про характеристики усієї системи для підтримки прийняття рішень про реконфігурацію параметрів радіоінтерфейсу.

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

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, випливають із того, що вони не протирічають відомим теоретичним положенням та одержані із використанням класичних методів математичного й імітаційного моделювання, їх достовірність додатково засвідчено актами впровадження; матеріали дисертації обговорювались та достатнім чином апробовані на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Наукова новизна результатів дисертаційних досліджень

У дисертаційній роботі Брича М.В. вперше запропоновано:

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

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

Також набув подальшого розвитку метод випадкового доступу з прослуховуванням радіосередовища 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.

Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи, опубліковано у 18 наукових працях, серед яких 7 статей у наукових періодичних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, а також 1 стаття у фаховому науковому виданні, крім цього 10 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій. Опубліковані праці повністю відбивають матеріали дисертаційної роботи. Вважаю, що такий рівень опублікування дисертації є достатнім.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Оформлення дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата наук. Автореферат дисертації повністю висвітлює всі отримані результати, сформульовані висновки та запропоновані рекомендації. Стиль викладення матеріалів досліджень є науковим, логічним та послідовним, забезпечуючи доступність їх сприйняття.

Практичне значення одержаних результатів

У роботі 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, алгоритм адаптивної агрегації радіочастот ліцензійного та неліцензійного діапазонів, алгоритм адаптивного вибору часового вікна для методу випадкового доступу з координованим прослуховуванням середовища, який дає змогу значно знизити кількість колізій шляхом використання ортогональних значень адаптивного часового вікна для окремих D2D груп.

А також запропоновано імітаційну модель для виконання просторового аналізу активності абонентів у гетерогенній мережі мобільного зв'язку, яка дає змогу досягти суттєвого підвищення ефективності використання радіочастотних ресурсів.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використано в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка».

Зауваження щодо дисертаційної роботи

1. В другому розділі роботи приведено відомі архітектури гетерогенних мереж мобільного зв'язку, зокрема на рис. 2.1, 2.2 та 2.3. Доцільніше було б представити їх у першому розділі рукопису.

2. В роботі не проведено дослідження взаємних впливів абонентів LTE та Wi-Fi в умовах різної ширини спектру радіоканалів та неповного перекриття сигналів.

3. З представленої на рис. 2.16 блок-схеми алгоритму агрегації радіочастот не зрозуміло, чому спочатку перевіряється зайнятість неліцензійних частотних каналів. Доцільніше було б використовувати неліцензійний частотний діапазон в останню чергу, з метою зниження рівня інтерференційних завад в мережі.

4. В тексті третього розділу недостатньо обґрунтовано вибір параметрів для моделювання мережі. Не зовсім незрозумілим є вибір сценарію моделювання з розташуванням передавальних пристроїв LTE та Wi-Fi в одній точці.

5. В тексті дисертаційної роботи зустрічаються нерозшифровані скорочення та граматичні помилки технічного характеру.

Висновки

1. Дисертаційна робота Брича Миколи Володимировича є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, важливі для подальшого розвитку галузі телекомунікацій.

2. В дисертаційній роботі представлено розв'язок актуального наукового 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 і вимог до параметрів якості передавання даних.

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

4. Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях, наукових семінарах, а також опубліковані у періодичних наукових виданнях.

5. Автореферат ідентично та з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації. Структура дисертаційної роботи є обґрунтованою. Виклад матеріалів здійснено якісно, логічно та доступно.

6. Приведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку

дисертаційної роботи.

7. За обсягом, науковим рівнем, практичною значимістю, рівнем апробації та публікаціями дисертаційна робота «Моделі та алгоритми функціонування гетерогенних мереж мобільного зв'язку» відповідає вимогам МОН України, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» Кабінету Міністрів України, а її автор, Брич М.В., заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри мобільних та

відеоінформаційних технологій

Державного університету телекомунікацій

А.О. Макаренко

Підпис доцента Макаренка А.О. засвідчую

Учений секретар

Державного університету телекомунікацій

О.В. Попов

