

Вченому секретарю спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.10
у Національному університеті
«Львівська політехніка»

Львів-13, вул. С. Бандери, 12

ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу
Кагала Ігора Олександровича «Підвищення енергоефективності та
якості обслуговування інтегрованих мереж LTE/Wi-Fi»,
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі**

Актуальність теми роботи

Стрімкий розвиток інфокомунікаційних технологій і використання інтегрованих мереж сприяють впровадженню нових видів послуг, у тому числі мультимедійних, які зі свого боку потребують наявності значної пропускну здатності для задоволення вимог користувачів щодо рівня якості обслуговування. За таких умов одним із найбільш ефективних методів підвищення пропускну здатності у мережах 5G представляється ущільнення фізичної мережної інфраструктури шляхом розгортання нових рівнів покриття комірок з додатковими частотними смугами. Проте в таких гетерогенних мережних структурах важливого значення набуває проблема ефективного розподілу частотних ресурсів між комірками мережі 5G з урахуванням навантаження та досягнення компромісу між рівнем якості обслуговування та енергетичною ефективністю мережі.

Виходячи з цього, є актуальною проблематика дисертаційної роботи Кагала І.О., яка присвячена розв'язанню науково-практичного завдання щодо підвищення енергоефективності та якості обслуговування інтегрованих мереж LTE/Wi-Fi шляхом розроблення методів адаптивного управління доступом до неліцензійного частотного діапазону, планування радіоресурсів та формування структури рівня радіодоступу, а також удосконалення алгоритму обслуговування черги каналного рівня в мережі Wi-Fi.

Актуальність теми дисертації також підкріплена впровадженням отриманих дисертантом результатів у науково-дослідні роботи (НДР):

- «Методи побудови гетерогенних інформаційно-комунікаційних систем для розгортання програмно-конфігурованих мереж 5G подвійного використання» (2017 – 2018 рр.), № держреєстрації 0117U004449;
 - «Розроблення методів адаптивного управління радіочастотним ресурсом у мережах мобільного зв'язку LTE-U для розвитку стандартів 4G/5G в Україні» (2018 – 2019 рр.), № держреєстрації 0117U007177;
- які виконувались у Національному університеті «Львівська політехніка».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Кагала І.О., випливають з достовірності отриманих дисертантом результатів, засвідчених відповідними актами впровадження, обговоренням матеріалів дисертації на 9 міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях, а також наукових семінарах, де отримали схвальну оцінку. Адекватність отриманих рішень та оцінка їхньої ефективності підтверджені результатами моделювання та дослідження процесу адаптивного формування структури рівня радіодоступу та впровадження інтегрованих мереж LTE/Wi-Fi в корпоративну інфраструктуру, а саме:

- дослідження реальної інформаційної мережі НУ «Львівська політехніка» для реалізації інтегрованої мережі LTE/Wi-Fi за допомогою системи централізованого управління безпроводовою мережею університету;
- дослідження процесу передавання відеопотоків реального часу по мережі Wi-Fi з використанням методу випадкового доступу декільком отримувачам в умовах короткочасних відмов каналу для деяких з них при удосконаленні алгоритму обслуговування черги каналного рівня в мережі Wi-Fi для боротьби з короткочасними відмовами каналу;
- імітаційне моделювання інтегрованої мережі LTE/Wi-Fi на базі інформаційної мережі НУ «Львівська політехніка» в середовищі Ornet Modeler.

Достовірність і новизна наукових положень, висновків і рекомендацій

У дисертаційній роботі Кагала І.О. отримано такі наукові результати:

1. Вперше запропоновано метод адаптивного планування радіоресурсів і формування структури рівня радіодоступу інтегрованих мереж LTE/Wi-Fi. Новизна методу полягає у використанні діаграми Вороного з метою адаптивної зміни структури мережі радіодоступу та розподілу загальної смуги частот між центральною та граничною зоною комірки LTE відповідно до локалізації абонентського навантаження. Це дозволило уникнути міжкоміркової інтерференції, підвищити якість обслуговування, а також енергоефективність мережі за рахунок переведення базових станцій у режим енергозбереження залежно від абонентського навантаження та врахування покриття карти Wi-Fi.

2. Удосконалено метод адаптивного управління доступом до неліцензійного частотного діапазону в умовах одночасного функціонування систем Wi-Fi та LTE-U. Шляхом централізованого прийняття обґрунтованого рішення щодо частки використання радіоресурсів оператором мобільного зв'язку LTE досягнуто підвищення ефективності використання ресурсів і швидкості передавання даних у гетерогенних мережах LTE, крім того, з уникненням міжсистемної інтерференції.

3. Набула подальшого розвитку імітаційна модель гетерогенної мережі з набором інтегрованих технологій радіодоступу LTE/Wi-Fi, яка враховує методи стохастичної геометрії щодо розміщення вузлів мережі спільно з особливостями обслуговування потоків трафіку користувачів в часі. Це дозволило визначити ефективність запропонованих рішень, а також отримати сценарії поведінки та обслуговування абонентів, близькі до реальних.

Практична значимість результатів роботи

Отримані в дисертаційній роботі Кагала І.О. наукові результати мають суттєву практичну цінність у зв'язку з тим, що можуть бути використані при створенні нових і вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів адаптивного управління ресурсами в безпроводових LTE/Wi-Fi мережах з метою забезпечення необхідної якості обслуговування. Впровадження запропонованих моделей, методів та алгоритмів дозволяє підвищити енергоефективність та якість обслуговування інтегрованих мереж LTE/Wi-Fi за наступними показниками:

- підвищення на 25 % швидкості передавання даних для абонентів інтегрованої LTE/Wi-Fi мережі з уникненням міжкоміркової інтерференції під час комплексного використання модифікованого методу повторного розподілення частот між комірками LTE в умовах адаптивного формування структури радіодоступу та неліцензійного діапазону частот;
- підвищення енергоефективності мережі на 30-42% при зменшенні середньої пропускної здатності мережі на 1%-4% із застосуванням алгоритму моніторингу та аналізу стану радіодоступу інтегрованої LTE/Wi-Fi мережі;
- підвищення якості обслуговування за критерієм пропускної здатності точки доступу на 36% в умовах пікових навантажень на окремі групи комірок шляхом ефективного управління ресурсами мережі при реалізації методу адаптивного формування розміру комірки безпроводової мережі;
- покращення якості надання відео послуг від 5% до 45%, оціненої за критерієм середньоквадратичної похибки, при передаванні декількох відеопотоків реального часу в інтегрованій LTE/Wi-Fi мережі при використанні алгоритму обслуговування черги каналного рівня для боротьби з короткочасними відмовами каналу.

Важливість для практики результатів дисертаційної роботи підтверджена актами їхнього впровадження, а саме:

- у ТзОВ «Телекомунікаційна компанія» з метою підвищення енергоефективності та якості обслуговування телекомунікаційних мереж використано метод адаптивного формування розміру комірки безпроводової мережі, а також впроваджено алгоритм моніторингу та аналізу стану радіодоступу мережі;
- у ТзОВ ВТФ «Контех» впроваджено алгоритм обслуговування черги

канального рівня в мережі Wi-Fi для боротьби з короткочасними відмовами каналу в умовах передавання відеопотоків реального часу, а результати експериментальних досліджень, виконаних на виробничих потужностях ТзОВ ВТФ «Контех», відповідають результатам досліджень, представлених у дисертаційній роботі.

Повнота викладу основних результатів дисертації у фахових виданнях

Проведений аналіз показав, що здобувач має необхідний обсяг наукових публікацій та апробацій. Результати дисертаційної роботи викладені у 15 наукових працях, серед них 1 стаття в закордонному науковому періодичному виданні та 5 наукових статей у фахових виданнях України. Дисертант доповідався на 9-ти міжнародних і всеукраїнських конференціях, з яких 6 доповідей були представлені на конференціях, які проходили під егідою IEEE та індексуються в наукометричних базах Scopus та IEEE Xplore Digital Library.

Зауваження та недоліки

1. Перший розділ дисертації присвячено існуючим підходам щодо інтеграції технологій LTE/Wi-Fi та детально проаналізовано відповідні технологічні аспекти. Однак постановка науково-практичного завдання дисертаційного дослідження представлена поверхнево.

2. У другому розділі під час дослідження запропонованого методу адаптивного управління доступом до неліцензійного радіоканалу в умовах одночасного функціонування систем Wi-Fi та LTE-U (пункт 2.2.4) на рис. 2.9. представлено часову діаграму вимог щодо пропускної здатності для користувачів LTE та Wi-Fi після застосування методу. Проте припущення автора про однаковість спектральної ефективності мереж LTE та Wi-Fi є не зовсім коректним, що обумовлено відмінностями радіоінтерфейсів. Адже відомо, що на практиці пропускна здатність Wi-Fi буде нижчою. Однак слід зазначити, що вказаний недолік не зменшує цінність даного методу.

3. З опису запропонованого методу адаптивного планування радіоресурсів і формування структури рівня радіодоступу інтегрованих мереж LTE/Wi-Fi (підрозділ 2.4), представлено на рис. 2.22–2.26, не зовсім зрозуміло, яким чином здійснюється вибір ширини смуги центральної зони одночасно для всіх комірок, побудованих на основі теселяції Вороного, з урахуванням різного навантаження кожної з комірок.

4. У пункті 3.2.1 щодо адаптивного розподілу навантаження в LTE мережі в умовах інтеграції з технологією Wi-Fi автор оперує відомим терміном «виклик», який в роботі має специфічне трактування, але при цьому не надається його визначення. Отже не зрозуміло, що саме мається на увазі під викликом при розгляданні різних інфокомунікаційних послуг (Таблиця 3.1). Крім того, автором зроблено узагальнене припущення щодо Пуассонівського закону розподілу тривалості виклику незалежно від типу послуги.

5. Підрозділ 4.4 дисертації присвячено дослідженню ефективності

використання модифікованої дисципліни обслуговування черги на каналному рівні мережі Wi-Fi. При цьому результати порівняння ефективності роботи запропонованого методу обслуговування черг за показником середньоквадратичної похибки (MSE) представлено на рис. 4.17-4.18. Однак з отриманого чисельного результату виходить, що для обраних меж тривалості відмови від 0 до 400 мс усі методи, які порівнювались, задовольняють мінімальну вимогу щодо перегляду відео. Водночас не проаналізовано, наскільки суттєвим є отримуваний вигреш у 26% та 45% з точки зору якості перегляду відео.

6. У Додатку 1 приведено програмний код імітаційної моделі інтегрованої мобільної системи зв'язку. Проте не зрозуміло, в якому розділі дисертаційної роботи представлена ця модель.

7. В тексті дисертаційної роботи присутні стилістичні та граматичні помилки.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому й оформлення

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Загальний обсяг роботи складає 195 сторінок друкарського тексту, із них: 7 сторінок вступу, 133 сторінки основного тексту, 76 рисунків, 5 таблиць, список використаних джерел з 200 найменувань, додатки на 13 сторінках.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення в цілому відповідає встановленим вимогам МОН України. Проте є зауваження щодо оформлення списку використаних джерел, наприклад, посилань [100], [106], [152], [156], [167] та інших. В дисертації автором часто використовуються англійські скорочення, але перелік умовних скорочень з їх розшифруванням і перекладом у дисертації відсутній.

Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює всі отримані результати, сформульовані висновки та запропоновані рекомендації.

Загальний висновок:

1) У дисертаційній роботі Кагала І.О. розв'язано актуальну науково-прикладну задачу щодо підвищення енергоефективності та якості обслуговування інтегрованих мереж LTE/Wi-Fi шляхом розроблення методів адаптивного управління доступом до неліцензійного частотного діапазону, планування радіоресурсів і формування структури рівня радіодоступу, а також удосконалення алгоритму обслуговування черги каналного рівня в мережі Wi-Fi для боротьби з короткочасними відмовами каналу в умовах передавання відеопотоків реального часу.

2) Дисертаційна робота за своїм науковим змістом і стилем оформлення відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», а також положенням паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Зміст автореферату відповідає положенням дисертаційної роботи.

3) Здобувач Кагало Ігор Олександрович заслугоує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент
професор кафедри інфокомунікаційної інженерії
імені В.В. Поповського
Харківського національного університету
радіоелектроніки
доктор технічних наук
доцент

О.С. Єременко

Підпис професора Єременко О.С. засвідчую
Учений секретар
Харківського національного
університету радіоелектроніки



І.В. Магдаліна