

## ВІДГУК

офіційного опонента начальника кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки Харківського національного університету Повітряних Сил Міністерства оборони України, кандидата технічних наук, доцента МАКАРОВА Сергія Анатолійовича на дисертацію Алалі Абдулла на тему **“МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ МЕРЕЖІ LTE ШЛЯХОМ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ”**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.

**Актуальність.** Початок ХХІ сторіччя відзначається прискореними темпами розвитку телекомунікаційних технологій та широким впровадженням безпроводових мереж. Цей розвиток особливо помітний по активним процесам міжнародної стандартизації, виробництва та розгортання безпроводових мереж. Серед них все більшого поширення набуває радіотехнологія рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління (LTE), в якому безпроводовий широкосмуговий доступ використовується дуже широким спектром додатків: від традиційної передачі мови до сучасних мультимедійних технологій.

Технологія LTE використовує протоколи взаємодії вузлів мережі для управління передачею інформації по загальному каналу зв'язку. Наявність спільного каналу зв'язку, який колективно використовується великою кількістю абонентів, є спільною рисою безпроводових телекомунікаційних систем. Ця особливість вимагає вирішення завдання збільшення продуктивності, необхідність розробки алгоритмів, що забезпечують своєчасну і надійну передачу інформації, які підвищують коефіцієнт використання смуги пропускання, скоротять час реагування базової станції на запити абонентських станцій, забезпечать якість обслуговування (QoS) для різних видів трафіку.

Таким чином, впровадження нових технологій та розвиток існуючих телекомунікаційних систем вимагає вирішення задачі пошуку шляхів підвищення пропускної здатності базових станцій за рахунок використання просторово-часового доступу (ПЧД). Тому тему дисертації слід вважати актуальною, а розв'язувані в ній науково-технічні задачі представляють як практичний, так і теоретичний інтерес.



Дослідження та розробка матеріалів дисертаційної роботи пов'язані з положеннями "Концепції національної інформаційної політики", "Концепції національної програми інформатизації", "Основних засад розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки" та "Концепції конвергенції телефонних мереж та мереж з пакетною комутацією в Україні" та виконувались відповідно планів науково-дослідних робіт (НДР) № 261-1 "Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління" (ДР № 0111U002627), яка виконувалася в Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ); НДР № 299-1 "Підвищення масштабованості технологічних рішень по забезпеченню якості обслуговування в конвергентних мережах" (ДР № 0115U002432), яка виконується в Харківському національному університеті радіоелектроніки, НДР "Концепція обробки, аналізу і передачі даних в ІАС НАКУ", яка виконувалася в Харківському державному регіональному науково-технічному центрі з питань технічного захисту інформації.

**Наукова новизна.** При проведенні досліджень був вирішений комплекс пов'язаних між собою задач та отриманий ряд наукових положень та результатів:

- удосконалено метод адаптивної модуляції при передачі даних в мережах LTE. Метод заснований на використанні індикатора якості каналу, який дозволяє враховувати рівні сигналів і завад, а також відстань між базовою і абонентською станціями. Використання розробленого методу адаптивної модуляції дозволяє адаптивно управляти параметрами виду модуляції з метою підвищення пропускної здатності базових станцій;

- отримала подальший розвиток процедура для оцінки параметрів каналів мережі LTE, заснована на багатовимірному фільтрі Калмана-Бьюсі. Дана процедура на відміну від існуючої процедури, що використовується в LTE, дозволяє оцінювати не середні значення параметрів каналів за проміжок часу, а проводить оцінку в реальному масштабі часу й дозволяє враховувати статистичний зв'язок між суміжними каналами, що дозволяє скоротити час оцінювання та підвищити якість оцінки;

- удосконалена підсистема планування кадрів при диспетчеризації ресурсів, заснована на алгоритмі SJF (Shortest-Job-First). На відміну від



алгоритму FIFO (First In, First Out), який використовується в LTE, алгоритм SJF забезпечує зменшення часу очікування пакетів в черзі, часу обробки і кількості відкинутих пакетів;

- з використанням математичної моделі нечіткої логіки удосконалено метод управління просторово-часовим доступом в мережах LTE, що дозволило забезпечити прискорення доступу до середовища, внаслідок чого збільшити кількість абонентських станцій, які обслужені в порівнянні з методом, заснованим на аналізі черг.

**Практична значимість отриманих результатів.** Наукові результати роботи забезпечують:

- застосування адаптивної модуляції в мережах LTE дозволить скоротити ймовірність помилки на 1 - 2 порядки, що підвищить пропускну здатність базових станцій;

- застосування багатовимірної рекурсивної процедури оцінки Калмана-Бьюсі на відміну від традиційних одновимірних оцінок, і оцінок заснованих на вибіркових статистиках, дозволяє отримувати більш точні результати і синтезувати керуючий вплив режиму функціонування в реальному масштабі часу. Аналіз багатовимірної процедури Калмана-Бьюсі з урахуванням статистичного зв'язку дає вигравш по точності оцінювання більше, ніж в 10 разів і цей вигравш збільшується зі збільшенням відношення сигнал/шум;

- застосування алгоритму SJF при диспетчеризації ресурсів дає вигравш щодо алгоритму FIFO, який використовується в LTE, за середнім часом очікування в черзі до 3 мс, що становить від 45% до 50%; за середнім часом обробки пакетів до 48%; за відкинутими пакетами до 15%;

- застосування просторово-часового доступу дозволяє підвищити відношення сигнал/завада + шум (ВСЗШ) на 20 - 30 дБ, що дає економію 1,5 - 2 підканала технології LTE. Алгоритм просторово-часового доступу, заснований на моделі нечіткої логіки дає вигравш в ймовірності з'єднання на 10% щодо алгоритму, заснованому на аналізі черг, який використовується в LTE. При обмеженні ресурсів, що доступні, алгоритм, заснований на аналізі черг поступається алгоритму нечіткого виведення з ПЧД на 40%.

Практична значимість отриманих результатів роботи підтверджується 2 актами впровадження результатів дисертаційної роботи в наступних

організаціях України: Харківський національний університет радіоелектроніки, Харківський державний регіональний науково-технічний центр з питань технічного захисту інформації.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації** високий, тому що автор використовує відомі і перевірені математичні теорії, моделі і методи, на основі яких уводяться їх модифікації шляхом обґрунтованих математично формальних визначень.

На основі положень радіофізики та теорії електров'язку удосконалено метод адаптивної модуляції. Метод заснований на використанні індикатора якості каналу, який дозволяє враховувати рівні сигналів і завад, а також відстань між базовою і абонентською станціями.

На основі теорії лінійної фільтрації розроблено метод оцінювання параметрів каналу. Зазначений метод, заснований на використанні багатовимірного фільтру Калмана-Бьюсі, що дозволяє проводити оцінку в реальному масштабі часу і враховувати статистичний зв'язок між суміжними каналами.

На підставі теорії масового обслуговування запропонована підсистема планування кадрів при диспетчеризації ресурсів, яка заснована на алгоритмі SJF (Shortest-Job-First).

На основі теорії просторово-часової обробки сигналів та математичного апарату нечіткої логіки запропоновано метод просторово-часового доступу мереж LTE.

**Достовірність** отриманих результатів підтверджується використанням відомих та апробованих методів системного аналізу, математичної статистики, теорії ймовірностей, теорії оптимізації та математичного моделювання й наявністю результатів імітаційного моделювання для підтвердження отриманих теоретичних результатів щодо підвищення пропускної здатності базових станцій мережі LTE.

**Апробація та оформлення роботи.** Проведений аналіз наукових праць здобувача показав, що основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 10-ти роботах, у тому числі 6-ти статтях в спеціалізованих виданнях, з них 1



стаття за кордоном. Аналіз змісту статей і тез доповідей дозволяє зробити висновок про те, що всі публікації мають безпосереднє відношення до теми і змісту дисертаційної роботи, та вони в сукупності розкривають основні наукові результати, що захищаються автором. Апробація теоретичних результатів достатня та представлена виступами на 4 міжнародних науково-технічних конференціях та форумах.

Дисертація оформлена відповідно вимогам України, які пред'являються до кандидатських дисертацій згідно "Порядку присудження наукових ступенів". Назва дисертації відповідає її змісту та відображає суть розглянутих та вирішених наукових задач. Дисертант логічно та аргументовано викладає зміст роботи, що дозволяє скласти однозначне враження про основні результати досліджень. Автореферат досить повно та правильно розкриває зміст і результати дисертації.

**Недоліки роботи.** До недоліків роботи слід віднести:

- в роботі не зазначено який метод буде використовуватись при проведенні вимірювання відстані між базовою та абонентською станціями при виборі виду модуляції, що може вплинути на швидкість та точність вимірювання;

- в роботі відсутній аналіз стійкості багатовимірного фільтру Калмана-Бьюсі, хоча відомо, що багатовимірний фільтр чутливий до вибору його параметрів;

- в роботі відсутній аналіз впливу алгоритму SJF при плануванні кадрів для з'єднань BE на ефективність планувальника кадрів для з'єднання rtPS та nrtPS;

- не зазначені довірчі інтервали результатів імітаційного моделювання й експериментальних досліджень.

Приведені недоліки не зменшують науково-теоретичної та практичної цінності роботи.

**Висновки та загальна оцінка роботи.** В цілому дисертаційна робота Алалі Абдулла є закінченою науково-дослідною роботою, у якій отримані нові науково-обґрунтовані теоретичні і практичні результати щодо методів підвищення пропускнуої здатності базових станцій мережі LTE за рахунок

раціонального використання ресурсів, що відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи і мережі.

За змістом, обсягом, апробаціями, публікаціями і іншими показниками дисертація відповідає вимогам “Порядку присудження наукових ступенів”, які пред’являються до кандидатських дисертацій.

Автор роботи, Алалі Абдулла заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи і мережі.

Офіційний опонент

Начальник кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки Харківського національного університету Повітряних Сил Міністерства оборони України,  
кандидат технічних наук, доцент

С.А. МАКАРОВ

12. Жовтня 2016 р.

Підпис Макарова С.А. засвідчую:

(прізвище, ініціали опонента)

(ПЕЧАТКА УСТАНОВИ)

ТВО начальника штабу  
Харківського національного  
університету Повітряних Сил



А.А.ЛУК'ЯНЧИКОВ

