**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"**

**Хайдер Худхаір Аббас Аль-Заяді**

УДК 621.396

# ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СПРИЙНЯТТЯ ПОСЛУГ ДЛЯ АБОНЕНТІВ МЕРЕЖ 4G НА ОСНОВІ МОДЕЛІ СЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ LTE

05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі

**Автореферат**
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, професор
**Климаш Михайло Миколайович**, Національний університет "Львівська політехніка", завідувач кафедри телекомунікацій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
**Агеєв Дмитро Володимирович**, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри телекомунікаційних систем

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
**Скулиш Марія Анатоліївна**, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", докторант кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж

Захист дисертації відбудеться "29" червня 2016 р. о 14:00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті "Львівська політехніка" (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 218 XI корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий "20" травня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради к.т.н., доцент І.В. Демидов

# ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дисертаційну роботу присвячено підвищенню якості надання послуг в безпровідних телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE (Long Term Evolution). В роботі це досягається за рахунок адаптації пропускної здатності радіоканалу до умов завад, покращення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE та підвищення показника справедливості розподілу ресурсних блоків між абонентами мережі.

**Актуальність теми.** Четверте покоління (4G) безпровідних широкосмугових мереж, таких як IEEE 802.16e, проект партнерства третього покоління (3GPP) і LTE, було розроблено на основі вимог QoS для надання різних видів широкосмугових телекомунікаційних сервісів.

LTE – це перспективне покоління мобільного зв'язку 4G, що характеризується високою швидкістю передачі даних і підвищеною якістю голосового зв'язку. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дають змогу здійснювати передавання даних рухомим абонентам зі швидкістю, що перевищує 10 Мбіт/с.

Забезпечення високих значень пропускної здатності у системі LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогонального частотного поділу OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), передавання сигналів за допомогою багатоантенних систем MIMO (Multiple Input Multiple Output) і еволюційна системна (сервісна) архітектура мережі (System Architecture Evolution).

Проблематикою забезпечення якості сприйняття послуг та підвищення пропускної здатності радіоканалу займалися такі вчені: Лемешко О.В., Безрук В.М., Бунін С.Г., Беркман Л.Н., Dahrouj H., Erik Dahlman, Dave C. Robinson, Климаш М.М. та багато інших.

Проте, у роботах всіх перелічених авторів відсутній комплексний підхід до підвищення пропускної здатності з одночасним забезпеченням якості сприйняття послуг на основі підвищення справедливості розподілу ресурсів між абонентами в комірці LTE.

Головне протиріччя, на яке спрямована робота, полягає у розробленні методів оцінки та збільшення пропускної здатності сучасних безпровідних систем зв'язку з дотриманням високої якості обслуговування користувачів (малої ймовірності бітової помилки) в складних умовах багатопроменевого просторового каналу з глибокими завмираннями сигналів. Вирішення полягає у використанні антенних систем як на приймальному, так і на передавальному кінцях каналу зв'язку (так звані MIMO (Multiple Input-Multiple Output) - системи) разом із технологією OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing). Крім пропускної здатності, важливою характеристикою системи є імовірність бітової помилки. Тому необхідно постійно підтримувати баланс між цими двома важливими для користувача характеристиками. Цього можна досягти за рахунок удосконалення методів та моделей розподілу ресурсів в комірці LTE.

Отже, підвищення якості сприйняття послуг у мережах LTE на основі адаптації радіоканалу, покращення показника справедливості розподілу

ресурсів та удосконалення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE є актуальною науковою задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з науковим напрямом кафедри телекомунікацій «Інфокомунікаційні системи та мережі», з положеннями «Концепції національної інформаційної політики», «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні», Закону України «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки».

Дисертаційна робота виконувалась в рамках держбюджетних науково-дослідних тем «Моделі та структури конвергентних телекомунікаційних мереж на основі CLOUD – технологій", (2013-2014 рр.), № держреєстрації 0113U003184, «Методи побудови та моделі інформаційно –телекомунікаційної інфраструктури на основі SDN – технологій для систем електронного урядування» (2015-2016 рр.), № держреєстрації 0115U000444.

**Мета роботи –** підвищення якості сприйняття послуг користувачами мережі LTE на основі адаптивного формування пропускної здатності каналу передавання, удосконалення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE та покращення показника справедливості розподілу ресурсних блоків.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Аналіз основних завдань та методів забезпечення якості надання та сприйняття послуг у мережах зв'язку четвертого покоління на основі сервісної архітектури LTE.
2. Дослідження моделей підвищення пропускної здатності каналу LTE для покращення параметрів якості надання та сприйняття послуг на основі методів компенсації інтерференції, формування діаграми спрямованості антени базової станції, прогнозування індикатора якості каналу.
3. Розроблення нових моделей підвищення пропускної здатності на основі вибору кількості портів антени та кількості OFDM символів з урахуванням адаптації діаграми спрямованості антени базової станції до режиму обслуговування множини користувачів.
4. Удосконалення методів розподілу ресурсів радіоканалу LTE між користувачами на основі показника справедливості розподілу та поділу користувачів на групи в залежності від значення сигнал/шум на вході приймача UE.
5. Розроблення моделі передавання мультимедійних даних через радіоканал LTE для перевірки ефективності запропонованих методів та алгоритмів.

*Об'єкт дослідження* – процес формування пропускної здатності радіоканалів у мережі LTE із забезпеченням якості сприйняття послуг користувачами.

*Предмет дослідження* – моделі та алгоритми забезпечення якості сприйняття послуг у мережі LTE на основі моделі її сервісної архітектури.

*Методи дослідження.* Дослідження виконано на основі використання основних положень теорії ймовірності та математичної статистики, аналітичного та імітаційного моделювання, а також теорії телекомунікаційних систем та мереж.

**Наукова новизна** роботи полягає у тому, що:

1. Вперше запропоновано модель групової відеотрансляції у мережі LTE, яка, на відміну від відомих, є багатошаровою та передбачає можливість передавання даних з використанням множини видів модуляції і кодування, що дає змогу об'єктивно оцінити баланс між якістю сприйняття послуги та справедливістю розподілу ресурсів.

2. Удосконалено модель формування пропускної здатності радіоканалу LTE на основі вибору кількості портів MIMO та структури OFDM символів, яка, на відміну від відомої, враховує режим формування діаграми спрямованості антенної системи базової станції LTE та дає змогу підвищити пропускну здатність виділеного для користувача каналу.

3. Набув подальшого розвитку метод розподілу ресурсів радіоканалу LTE нульового типу за рахунок введення коефіцієнта справедливості розподілу ресурсів, який дає можливість врахувати співвідношення між необхідною та наданою пропускною здатністю, а його усереднення дає змогу визначити справедливість розподілу ресурсів в середньому у мережі.

4. Набув подальшого розвитку метод розподілу ресурсів радіоканалу LTE першого типу за рахунок формування віконного механізму групування абонентів за значенням співвідношення сигнал/шум, що дало змогу підвищити середню якість сприйняття послуг у комірці мережі.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що:

1. Урахування режиму формування діаграми спрямованості антенної системи базової станції у процесі вибору способу компенсації інтерференції дало змогу підвищити пропускну здатність радіоканалу LTE до 25 %.

2. Модель формування пропускної здатності радіоканалу LTE на основі вибору кількості портів антенної системи та структури OFDM символів дала змогу визначити співвідношення між видом модуляції, швидкістю турбокодера, розмірністю антенної системи MIMO та досяжною результуючою пропускною здатністю радіоканалу, на основі чого стає можливим використання індикатора якості каналу для удосконалення міжрівневої взаємодії сервісної моделі LTE.

3. На основі введення показника справедливості розподілу ресурсів за методом розподілу ресурсів нульового типу досягнуто підвищення справедливості розподілу ресурсів у комірці у середньому на 30%.

4. Результати, отримані з допомогою запропонованої моделі багатошарової відеотрансляції, дають змогу обрати баланс між двома стратегіями розподілу ресурсів (максимізація QoE та максимізація показника справедливості розподілу ресурсів), Зокрема, для символьної швидкості 120 ксим/с, перша стратегія забезпечує на 34% вищий рівень показника QoE, однак друга стратегія дає змогу на 21% підвищити показник справедливості розподілу ресурсів.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використані в навчальному процесі, в лекційних курсах і лабораторних роботах, які проводяться для студентів Національного університету "Львівська політехніка" за спеціальністю "Інформаційні мережі зв'язку", зокрема "Технології мереж мобільного зв'язку".

Результати роботи використано:

– у компанії Horizon Scope Mobile Telecom (м. Багдад Аль-Мансор, Ірак) для підвищення пропускної здатності радіоканалу та підвищення ефективності розподілу ресурсів у комірці LTE;

– у ПП «Цифрові технології» (м. Львів) для покращення якості обслуговування абонентів при наданні мультимедійних послуг;

– у навчальному процесі кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка» для модернізації курсу лекцій з дисципліни «Технології мереж мобільного зв'язку».

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові результати і положення дисертації представлені, доповідались та всебічно обговорені на 11-ти міжнародних науково-технічних конференціях, наукових семінарах та симпозіумах: Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в 21 столітті» (м. Харків, 2013 р.), 12-та Міжнародна науково-технічна конференція "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії" TCSET`2014 (Львів-Славсько, 2014 р.), Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій-2014" (м. Київ, 2014 р.), X$^{th}$ International Conference "Prespective Technologies and Methods in MEMS Design" (м. Львів, 2014), 2014 First International Scientific-Practical Conference Problems Of Infocommunications Science And Technology IEEE PIC S&T 2014 (м. Харків, 2014 р), Всеукраїнська конференція "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2014" (м. Львів, 2014 р.), XXII Ukrainian–Polish conference CADMD'2014 (м. Львів, 2014 р.), $^{5th}$Annual BEAR PGR (Birmingham, United Kingdom, 2014), XIIIth International Conference, the experience of designing and application of CAD systems in microelectronics CADSM 2015 (Polyana-Svalyava, 2015 р.), 1st International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015) (м. Львів, 2015 р.), 13 Міжнародна науково-технічна конференція "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії" TCSET`2016 (Львів-Славсько, 2016 р.).

**Публікації.** За результатами досліджень, які викладені у цій дисертаційній роботі, опубліковано 23 наукові праці, серед них, 2 статті у закордонних виданнях, що входять до переліку міжнародних наукометричних баз, 8 статей у фахових виданнях України, які входять до переліку міжнародних наукометричних баз, 13 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій.

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати наукових, теоретичних і практичних досліджень, викладені в дисертації, одержані автором особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертантові належать: у роботах [1-2, 4,8] – постановка задач досліджень та розробка імітаційної моделі, [3,5] – методика дослідження, [6,7,9,10] – методичні основи підвищення ефективності радіоканалу у системі LTE.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг роботи складає 145 сторінок друкарського тексту, із них 7 сторінок вступу, 109 сторінок основного тексту, 43 рисунки, 16 таблиць на 16 сторінках, список використаних джерел зі 103 найменувань, 1 додаток.

# ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи, подано зв’язок з науковими програмами, планами, темами. Сформульовано мету і завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження. Представлено наукову новизну і практичне значення результатів. Подано інформацію щодо апробації та публікацій, особистого внеску автора. Представлено характеристику структури та обсягу дисертаційної роботи.

**У першому розділі "Аналіз методів та алгоритмів забезпечення якості обслуговування та сприйняття послуг В LTE мережах"** проаналізовано основні завдання із забезпечення QoE (Quality of Experience) і QoS (Quality of Service) в безпровідних мобільних мережах покоління 4G. Проведено аналіз методів та алгоритмів підтримки якості обслуговування і якості сприйняття послуг, які базуються на адаптації пропускної здатності та розподілу радіоресурсів. Подано основні недоліки вказаних методів і сформульовано задачу дослідження – розроблення нових та удосконалення існуючих методів забезпечення QoS та QoE, що забезпечують підвищення пропускної здатності і удосконалення алгоритмів розподілу ресурсів у мережах LTE.

Четверте покоління (4G) безпровідних мереж широкосмугового доступу базується на вимогах QoS для надання різного роду широкосмугових телекомунікаційних послуг. Різноманітні послуги мають відповідну класифікацію і для кожного класу специфіковані якісні показники QoS. Характеристики QoS визначають: пріоритетність трафіку, допустимі затримки, допустимі втрати, необхідні значення швидкості передавання (максимальна швидкість трафіку і мінімальна зарезервована швидкість), допустимий часовий джитер.

Функцію виділення канального ресурсу з урахуванням забезпечення QoS реалізує планувальник. При здійсненні передачі в низхідному потоці (БС (базова станція) → МС (мобільна станція)) планувальник завжди має повну інформацію про всі потоки даних і може забезпечити оптимальний розподіл канального ресурсу. При організації передачі по висхідному потоці (МС → БС) існує 5 типів трафіку в залежності від їх пріоритету та вимог до затримок. У трьох з них передбачене опитування МС для того, щоб оперативно змінювати канальний ресурс, що виділяється для конкретної МС.

Передача послуги в мережі LTE розглядається, відповідно до мережевої архітектури, окремо в мережі радіодоступу (Radio Access Bearer Service), де забезпечується конфіденційне передавання призначених для користувача даних із заздалегідь вибраним або встановленим за замовчуванням рівнем якості обслуговування, і у базовій пакетній мережі (Core Network Bearer Service), що також може підтримувати різну якість обслуговування.

Послугу в мережі радіодоступу реалізують двома частинами: в радіоканалі (Radio Bearer Service) і в механізмі радіодоступу (Access Bearer Service). Реалізація послуги в радіоканалі містить усі аспекти, що стосуються передавання даних по радіоінтерфейсу, включаючи сегментацію і повторне збирання призначених для користувача пакетів. Крім того, на фізичному рівні (Physical Radio Bearer Service) здійснюється управління потоком призначених для користувача даних. Механізм радіодоступу забезпечує на фізичному рівні

(Physical Bearer Service) передавання даних між мережею радіодоступу і базовою мережею.

Якість обслуговування в безпровідних мережах оцінюють на основі ключових показників ефективності KPI (Key Performance Indicators), які визначають задоволення потреб клієнта і технічні можливості постачальника послуг. Один з важливих показників – якість сприйняття (QoE). Ним оцінюють міру задоволеності кінцевих користувачів отриманими послугами. QoS (якість обслуговування) визначає здатність мережі забезпечувати гарантовані параметри для пересилання інформаційних потоків.

Управління параметрами QoE і QoS здійснюють на основі мережевого планування, резервування QoS, моніторингу QoE і QoS, оптимізації мережевих параметрів.

**У другому розділі "Математичні моделі та методи підвищення пропускної здатності, якості обслуговування та сприйняття послуг в мобільних мережах на основі технології LTE"** представлено математичні моделі компонентів радіоканалу LTE, які дають можливість адаптувати пропускну здатність мережі, якість обслуговування і якість сприйняття послуг до умов середовища між абонентом та базовою станцією.

Для адаптації пропускної здатності комірки до заданої потужності передавача необхідно використовувати адаптивні методи модуляції і кодування (AMC). Їх вибір здійснюється на основі інформації CQI (Channel Quality Indicator), що базується на множині порогів Block Error Rate (BLER). UE відправлятиме значення CQI, що відповідатиме СКК (сигнально-кодовій конструкції), яка забезпечить BLER≤10% для виміряного рівня потужності отриманого сигналу.

Вимірювання якості каналу (CQI) виконується з використанням опорних символів. На рис. 1 представлене формування сигналу на фізичному рівні LTE з турбокодуванням і модуляцією сигналів.

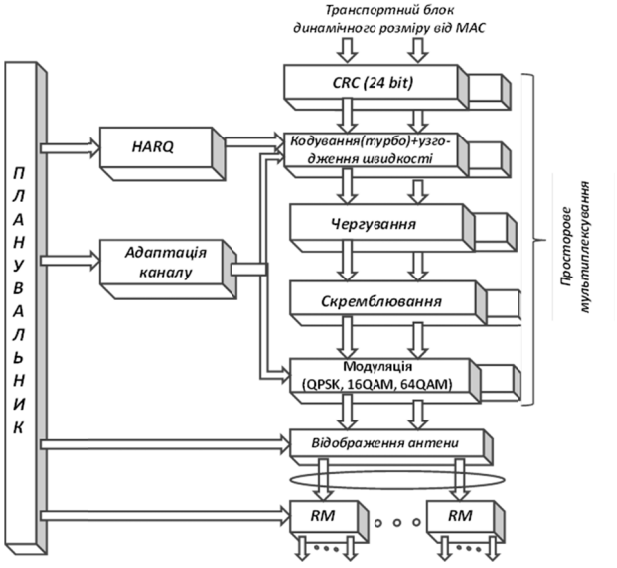



Рис. 1. Алгоритм генерування сигналу в LTE

Результати пропускної здатності порівнюються з пропускною здатністю *C* AWGN каналу, яка розрахована за допомогою формули Шеннона:

$$C = FB\log_2\left(1 + SNR\right), \quad (1)$$

де *SNR* – співвідношення сигнал/шум, *B* –ширина смуги пропускання, зайнята даними піднесівних, *F* – коригуючий коефіцієнт. Ширина смуги пропускання *B* обчислюється як:

$$B = \frac{N_{SC} N_S N_{rb}}{T_{sub}}, \tag{2}$$

де $N_{SC}$= 12 – кількість піднесучих в одному RB (Resource Block), $N_S$– кількість символів OFDM в одному субфреймі (зазвичай дорівнює 14, коли встановлено нормальний циклічний префікс (CyclicPrefix (CP))), $N_{rb}$ – кількість RB, яка підходить до обраної смуги пропускання системи (наприклад, 6 RB в межах смуги частот 1.4МГц системи) та $T_{sub}$ – тривалість одного субфрейму, рівна 1мс.

Передача OFDM сигналу потребує циклічного префікса CP, щоб уникнути міжсимвольної інтерференції, а також опорних символів для оцінки каналу. Звернемо увагу на те, що відома формула Шеннона (1) регулюється коефіцієнтом *F*, що враховує службові втрати в системі, який розрахуємо за формулою:

$$F = \frac{T_{frame} - T_{cp}}{T_{frame}} \cdot \frac{N_{sc} \cdot \frac{N_s}{2} - 4}{N_{sc} . N_s / 2}, \tag{3}$$

$cp_{loss}$ *refrence symbol loss*

де $T_{frame}$ – фіксована тривалість фрейму, рівна 10 мс; $T_{CP}$ – сумарна тривалість CP для всіх символів OFDM в межах одного фрейму.

При передаванні $x(n)$ по каналу $N \times 1$, розрахунок сигналу на приймачі $M_i \times 1$ здійснюється за наступним рівнянням:

$$x(\mathrm{t}) = \sum_{k=1}^{K} w_k s_k(\mathrm{t}) \tag{4}$$

де $M_i$ – кількість антен приймача для і-ого абонента. $s_k$ – передані дані від абонента в момент часу $(t)$; $w_k$ – вектор діаграмоутворення.

На рис. 2 представлено модель діаграмоутворення, яка об’єднує багатокористувацький MU-MIMO і однокористувацький SU-MIMO режими MIMO, та дає змогу здійснювати комунікацію між базовою станцією і множиною користувачів у деякій комірці LTE.

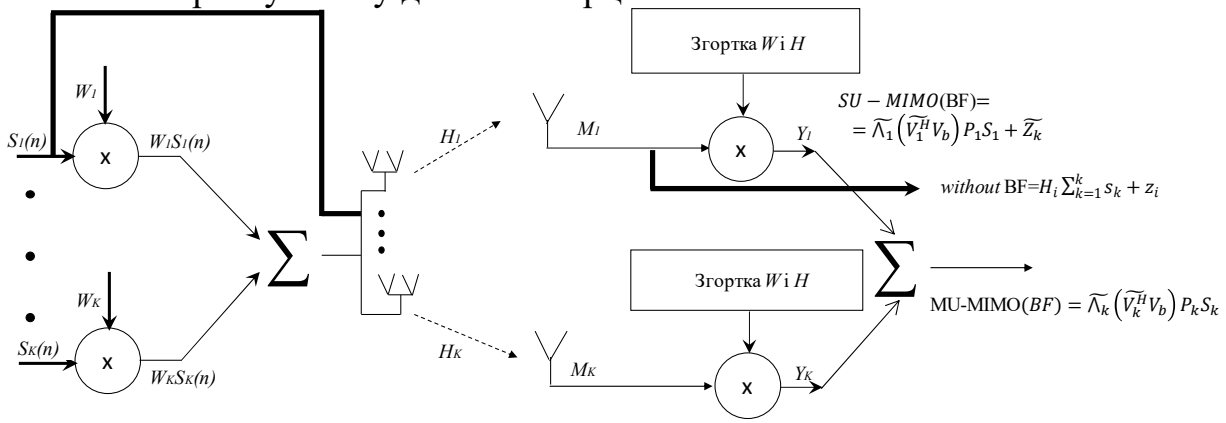



Рис. 2. Модель багатокористувацького діаграмоутворення MIMO

Застосування технології діаграмоутворення дає змогу локалізувати потужність сигналу у визначеній області простору з метою зниження взаємного впливу і забезпечення просторового розділення окремих каналів MIMO. Це, в свою чергу, приводить до покращення показника BLER, тобто підвищення якості обслуговування.

**У третьому розділі "Розроблення методів та моделей підвищення пропускної здатності та якості сприйняття послуг у системі LTE"** проведено дослідження пропускної здатності та якості обслуговування в LTE із застосуванням нових та удосконалених моделей і методів управління ресурсами та формування пропускної здатності для висхідного та низхідного фізичних каналів.

У роботі запропоновано модель, яка дає змогу підвищити якість обслуговування в комірці LTE на основі зниження частоти звітування про CQI. Оскільки це значення отримують за підсумками аналізу виміряних на вході приймача значень сигнал/шум, то, чим більші його флуктуації, тим частіше потрібно підлаштовуватись під умови передавання шляхом AMC. Запропонована модель базується на використанні апарату ланцюгів Маркова зі скінченною множиною станів для прогнозування наступних значень CQI без необхідності їх очікування від UE.

У якості моделі SINR використаємо наступне співвідношення, яке відображає густину імовірності SINR для Релеєвського багатошляхового каналу з повільними завмираннями сигналу

$$p(\gamma_i) = 1/\gamma_o e^{\frac{-\gamma_i}{\gamma_o}}, \quad (5)$$

де $\gamma_o = E\{\gamma_i\}$ - середнє значення відношення сигнал/шум.

Для того, щоб перейти від значення SINR до розподілу імовірностей, використано розширений експоненціальний метод (EESM).

$$\gamma_{eff} = EESM(\gamma,\beta) = -\beta \ln {}^{1}\!/_{N} \sum_{i=1}^{N} e^{{}^{-\gamma_i}\!/_{\beta}} \quad (6)$$

де $\gamma = [\gamma_1, \gamma_2, \ldots\ldots, \gamma_n]$ – значення SINR для кожної піднесівної, визначене для конкретного виду модуляції і кодування.

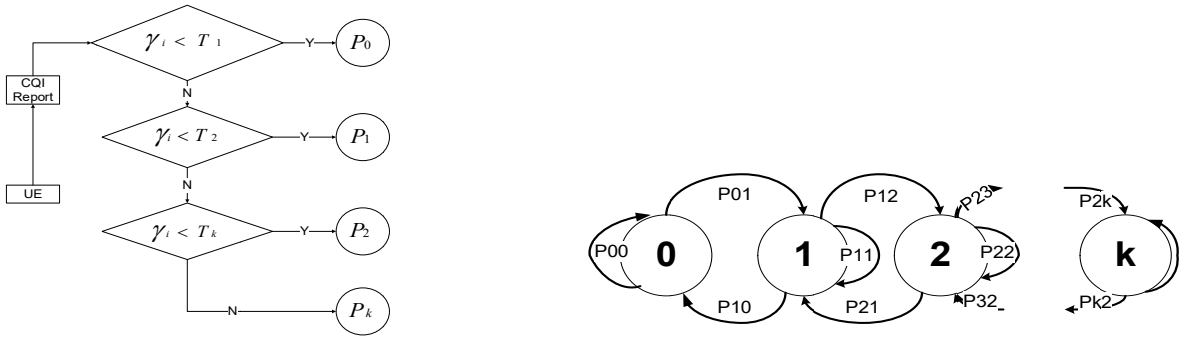
SINR, оцінений UE із набору активних UEs можна виразити як:

$$SINR_i = \frac{SFxI_{r,i}}{\alpha I_{own,i} + I_{other,i} + I_N} \quad (7)$$

Для поточного стану CQI отримують шляхом звітування, а наступний стан *m* визначається найвищою імовірністю переходу:

$$P_{k,m} = \max(P_{K,K}, P_{K,K+1}, P_{K,K-1}) \quad (8)$$

Модель у вигляді ланцюга Маркова зі скінченною множиною станів, представлена на рис. 3, а, відображає поведінку Релеєвського багатошляхового каналу з повільними завмираннями сигналу у часі. Діаграма станів і переходів, яка використовується для прогнозування CQI, представлена на рис. 3,б.




а) б)

Рис. 3. Алгоритм (а) та модель (б) прогнозування CQI

Задача виділення пропускної здатності активному з'єднанню зводиться до задачі розподілу груп ресурсних блоків із використанням нульового типу розподілу ресурсів LTE. На рис. 4 представлено блок-схему методу розподілу груп ресурсних блоків, із використанням якого досягається призначення необхідної пропускної здатності всім кінцевим пристроям. Проте, може виникнути ситуація, коли всі ресурси будуть захоплені кінцевим пристроєм з найбільшим значенням сигнал-шум на вході протягом тривалого інтервалу функціонування мережі. У запропонованому методі задача розподілу частотно-часових ресурсів низхідного каналу LTE за максимумом співвідношення сигнал/шум формулюється як задача розподілу ресурсних блоків, що належать до тієї ж підмножини, певному кінцевому пристрою, відповідно до значення сигнал/шум (рис. 5).

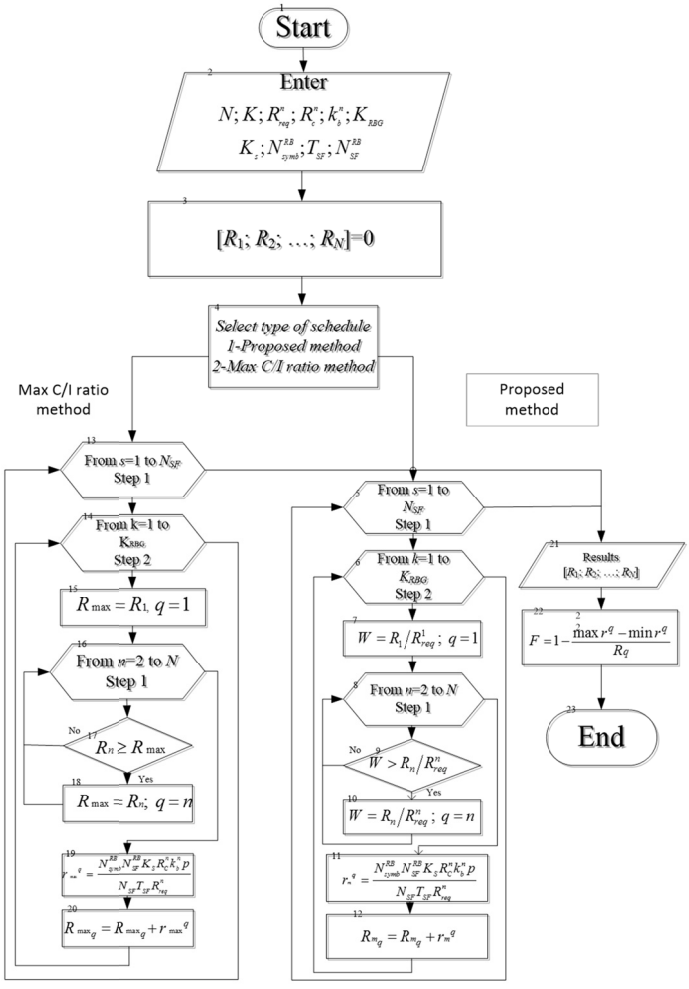



Рис. 4. Блок-схема розподілу груп ресурсних блоків нульового типу

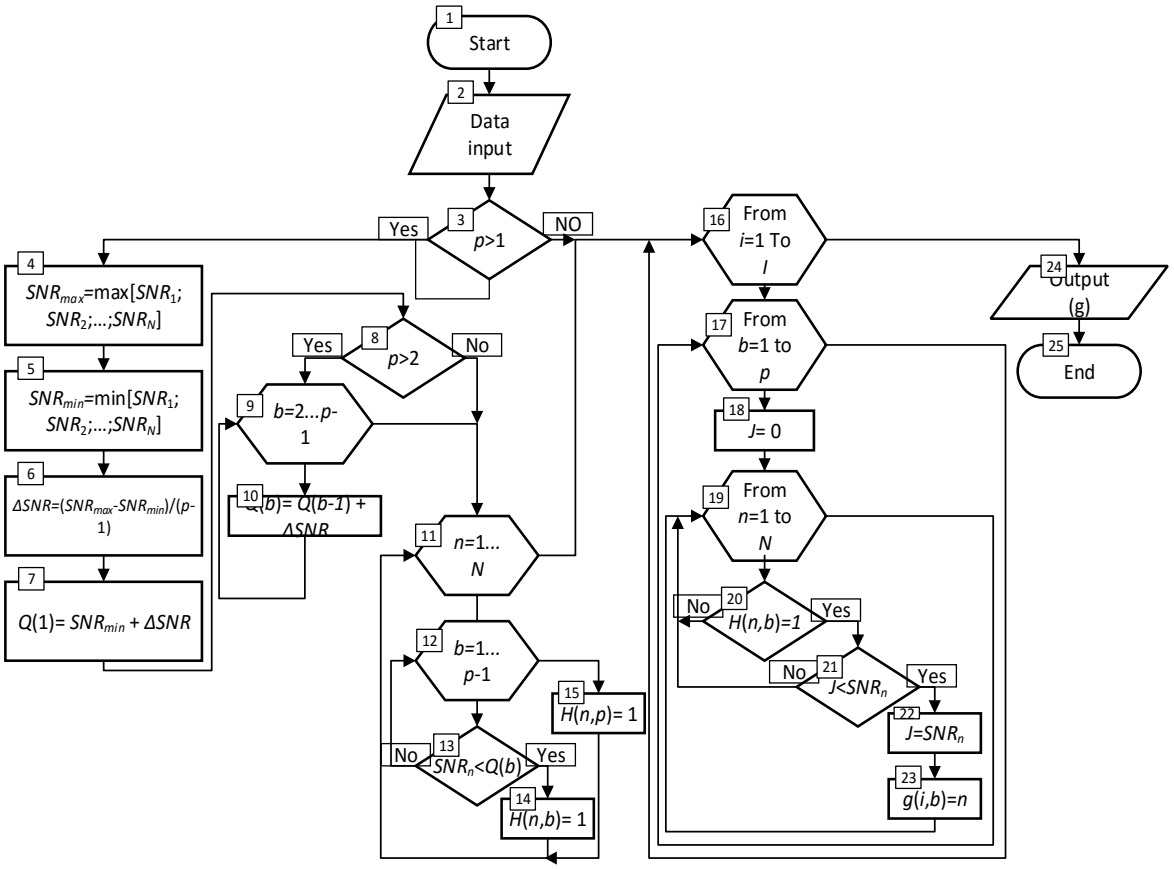



Рис. 5. Блок-схема запропонованого методу із поєднанням розподілу ресурсів нульового та першого типів

У роботі запропоновано нову багатошарову модель групової відеотрансляції у мережі LTE, яка дає змогу об'єктивно оцінити баланс між якістю сприйняття послуги та справедливістю розподілу ресурсів.

Припустимо, що $S$ – символьна швидкість, яка заздалегідь виділяється для групової відеосесії; в системі існує $L$ різних сигнально-кодових конструкцій МС. Нехай можлива кількість відеошарів в цій системі не може бути більшою, ніж $L$ і окрема МС застосовується до кожного відео шару $l$, $l = 1,2,...,L$.

Нехай у дальній зоні комірки, де застосовується МС1, є $N$ приймачів, які рівномірно розподілені в комірці. Нехай існує $n_l$ приймачів, які можуть бути розташовані всередині покриття МС рівня $l$, але не у зоні покриття рівня МС $l+1$.

Позначимо:

$$w_l = \frac{n_l}{N}, \text{ де } \sum_{l=1}^{L} w_l = 1 \tag{9}$$

Нехай $S_l$ – символьна швидкість передавання, виділена для шару $l$.

$$S_l = \alpha_l S, \text{ де } \sum_{l=1}^{L} S_l \le S, \tag{10}$$

Визначимо вектор розподілу ресурсів $A$.

$$A = (\alpha_1, \alpha_2, ...\alpha_L), \quad \text{де } \sum_{l=1}^{L} \alpha_l \le 1 \tag{11}$$

Якщо рівень $l$ МС може модулювати $r_l$ біт одним символом, то відео-шар $l$ кодується і передається в смузі:

$$B_l = S_l \cdot \mathrm{r}_l = \alpha_l \cdot \mathrm{r}_l \cdot S \tag{12}$$

Вектор розподілу ресурсів $A$ описує те, що для кожного рівня МС виділяється обмежена частина ресурсів, таким чином він визначає кількість шарів відео, та швидкість їх передачі, тобто швидкості кодування відеопотоку.

Приймач всередині зони дії виду модуляції і кодування рівня $l$, проте, не всередині рівня $l+1$, може приймати дані з відеошару 1 до відеошару $l$. Розглядається ідеальний випадок без втрат і без шуму навколишнього середовища, де сукупна швидкість передачі даних $R_l$ на вході приймача є :

$$\begin{gathered} R_l = \sum_{i=1}^{l} B_i = S \sum_{i=1}^{l} \alpha_i \cdot r_i = S \cdot x_l \\ \text{де } x_l = \begin{cases} 0, \ if \ \ l = 0 \\ x_{l-1} + \alpha_i \cdot r_i, \ for \ 1 \le l \le L \end{cases} \end{gathered} \tag{13}$$

У якості моделі, яка узагальнює зв'язок між QoE (якістю сприйняття) та спотвореннями, вибрана $S$-подібна крива, а функція QoE будується у залежності від середньої швидкості відеопотоку $R$, де швидкість кодування відео позначається як $R_S$.

$$Q(R) = \frac{1 - e^{-c1\left(\frac{R}{Rs}\right)^{c2}}}{1 - e^{-c1}}. \tag{14}$$

Змінні середовища $C_1$ і $C_2$ вказують на спотворення відео. При $C_1 = 6$, $C_2 = 2$, як правило, передбачається, що середовище є ідеальним безпровідним каналом, а при $C_1 = 6$, $C_2 = 6$, вважаємо, що певна ділянка каналу зашумлена. $C_1 = 6$, $C_2 = 20$ визначають канал, шумова обстановка у якому швидко змінюється і є гіршою, ніж при $C_2 = 6$.

Допустима якість сприйняття користувачами наданих послуг є функцією допустимої швидкості передачі даних $R$ та стратегії розподілу ресурсів з метою максимізації сумарної якості сприйняття для всіх приймачів:

$$\begin{gathered} A_{\max_\mathrm{QoE}} = \arg\max_A \left(\sum_{i=1}^{N} Q(R_i)\right) = \arg\max_A \left(\frac{1}{N} \sum_{l=1}^{L} n_i \cdot Q(R_i)\right) \\ = \arg\max_A \left(\sum_{l=1}^{L} w_l \cdot Q(R_i)\right), \text{ коли } \left(\sum_{i=1}^{L} S_i \le S\right) \end{gathered} \tag{15}$$

Якщо розглядати рівномірність розподілу ресурсів між приймачами, то мінімаксна справедливість розподілу демонструє кращу якість сприйняття, ніж PF (пропорційна справделивість) планування. Тим не менш, PF планування по відношенню до QoE забезпечує більш практичне рішення для компромісу між допустимою якістю сприйняття та обсягом наданих ресурсів.

$$A_{\max_\mathrm{PFQoE}} = \arg\max_A \left(\prod_{i=1}^{N} Q(R_i)\right) = \arg\max_A \left(\frac{1}{N} \prod_{l=1}^{L} Q(R_l)^{n_l}\right), \text{ коли } \left(\sum_{i=1}^{L} S_i \le S\right) \tag{16}$$

Позначимо через $Q$ середню QoE з $N$ приймачів, тоді показник справедливості можна визначити таким чином:

$$F(Q(\mathrm{R}_1),Q(\mathrm{R}_2),...,Q(\mathrm{R}_N)) = 1 - \frac{1}{2(\mathrm{N}-1)}\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{Q(\mathrm{R}_i)}{\bar{Q}} - 1\right| = \\ = 1 - \frac{N}{2(\mathrm{N}-1)}\sum_{l=1}^{L} w_l \cdot \left|\frac{Q(\mathrm{R}_i)}{\bar{Q}} - 1\right| \quad (17)$$

**У четвертому розділі "Застосування розроблених методів та моделей підвищення пропускної здатності системи LTE для покращення якості сприйняття інфокомунікаційних послуг"** проведено дослідження набору параметрів, які впливають на пропускну здатність, якість обслуговування та якість сприйняття інфокомунікаційних послуг. Здійснене дослідження базується на розроблених у третьому розділі методах та моделях, а також враховує базові комунікаційні технології стандарту LTE, моделі яких подано у другому розділі.

Залежність пропускної здатності від відношення сигнал/шум із застосуванням АМС представлена на рис. 6, б для одного користувача, який отримує усі доступні ресурси. Варто відзначити, що характер кривих на рис. 6, а і 6, б подібний, хоча у другому випадку допускалося до трьох повторних передач. Причина такої подібності полягає у тому, що в AWGN каналі перемикання між схемами кодування і модуляції здійснюється ідеально, а отже немає необхідності у повторних передачах.

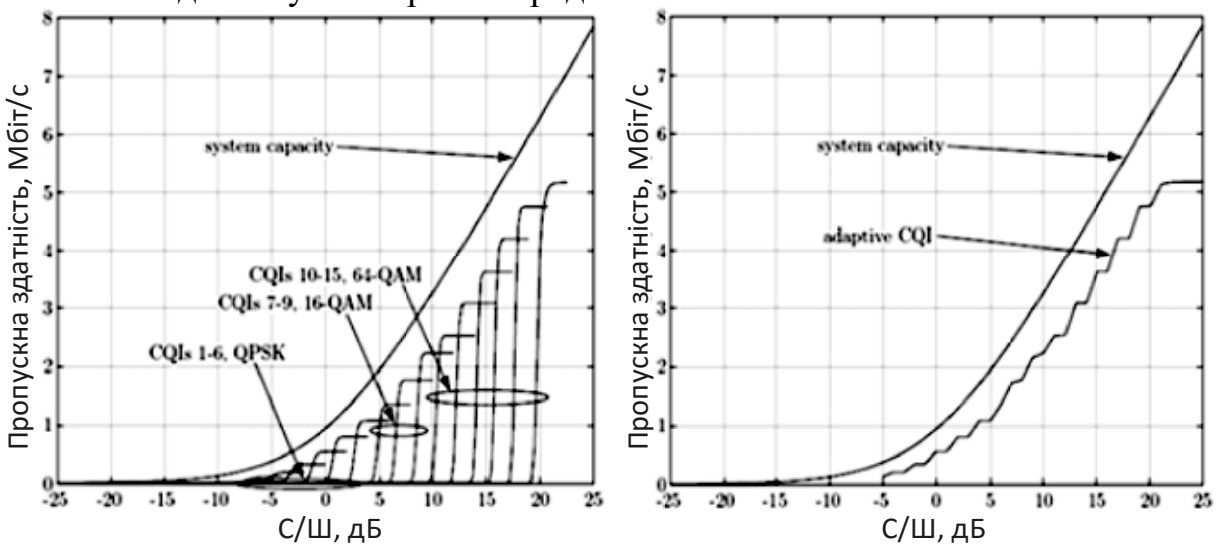



Рис. 6. Залежність пропускної здатності від відношення сигнал/шум а) без HARQ у AWGN каналі, б) з АМС і HARQ у AWGN каналі

На рис. 7 представлено результати дослідження пропускної здатності LTE з використанням та без використання цифрового діаграмоутворення і з використанням двох видів модуляцій: а) QPSK, б) 64 QOAM.

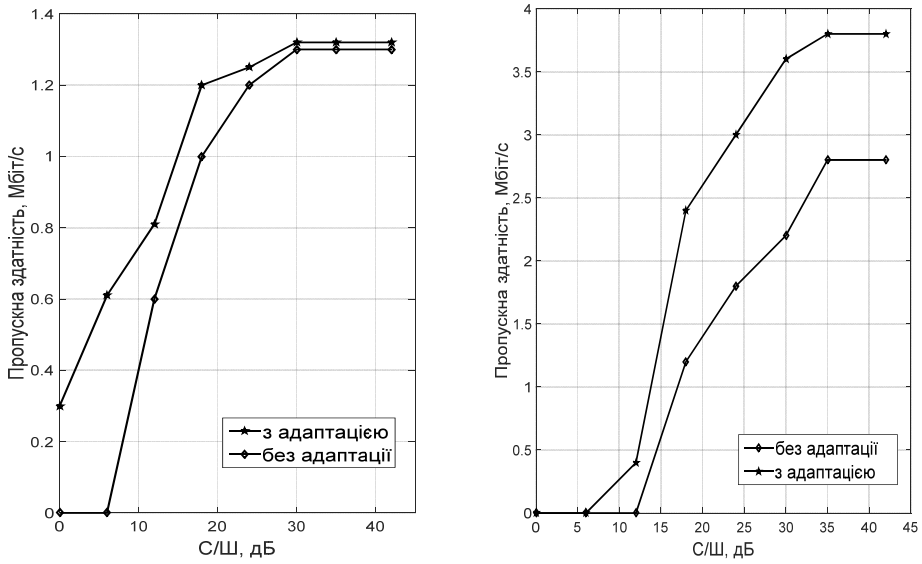
Видно, що пропускна здатність каналу з цифровим діаграмоутворенням вища в обох випадках, а з використанням модуляції 64 QOAM досягається на 35-40 % вища пропускна здатність, ніж для QPSK в області значень SNR вище 15 дБ.

На підставі моделі підвищення пропускної здатності каналу LTE з урахуванням впливу збільшення числа портів антени і числа символів OFDM на

продуктивність мережі проведено дослідження досяжних значень пропускної здатності каналу. Результати наведено на рис. 8.

З рис. 8 видно, що теоретичний максимум пропускної здатності досягається в смузі пропускання 20 МГц з використанням чотирьох антенних портів, модуляції 64-QAM, швидкості кодера 0,85, і становить 276,32 Мбіт/с.

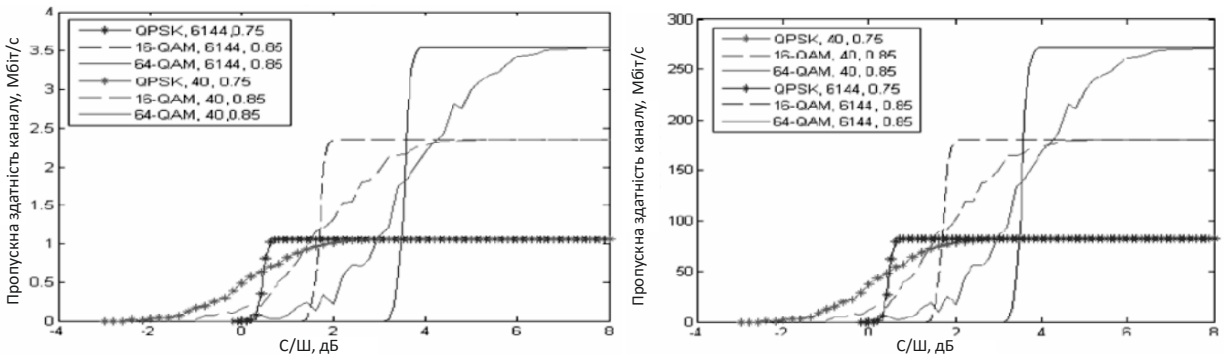
У роботі запропоновано удосконалений метод розподілу ресурсів, який базується на використанні нульового та першого типу розподілу ресурсів LTE. Результати, представлені на рис. 9, а, свідчать, що завантаженість пропускної здатності каналу для: методу максимальної справедливості становить 0,682, методу пропорційної справедливості – також 0,682 і методу максимізації пропускної здатності – 0.




а б

Рис. 7. Порівняння спектральної ефективності каналу LTE з та без BF з використанням модуляцій: а) QPSK, б) 64 QAM

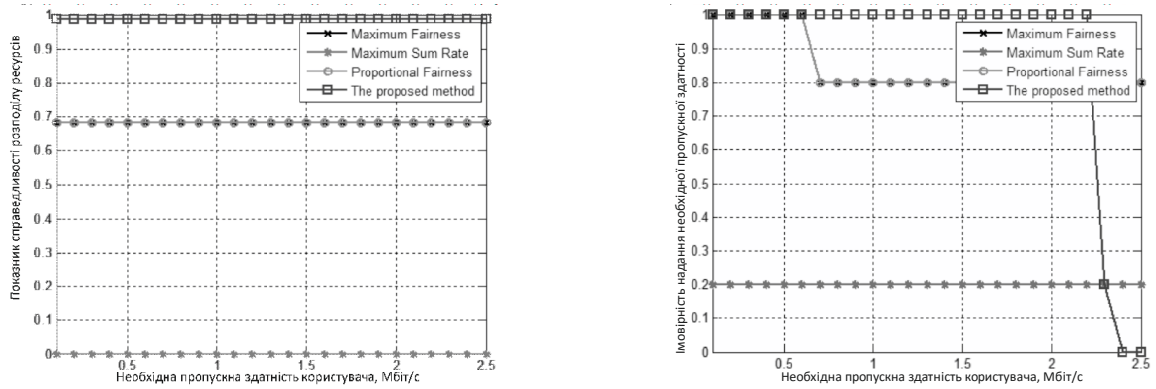
З використанням запропонованого методу, завантаженість пропускної здатності, що підлягає балансуванню, мала найвище значення серед усіх підходів, згаданих вище, і становила 0,988.




а б

Рис. 8. Залежність пропускної здатності каналу FDD PDSCH від відношення сигнал/шум з урахуванням множини параметрів радіоканалу

Результати також можуть бути представлені у вигляді залежності імовірності виділення необхідної пропускної здатності каналу (рис. 9, б).




а б

Рис. 9. Залежність а) завантаженості пропускної здатності, б) імовірності виділення необхідної пропускної здатності від необхідної пропускної здатності кожному UE із використанням різних методів розподілу ресурсів у низхідному каналі, що базуються на нульовому типі розподілу LTE

Друга частина цього методу, подана на рис. 5, підтверджує свою ефективність, коли розподіл ресурсів здійснюється на основі максимуму відношення сигнал/шум. Тоді, із застосуванням першого типу розподілу LTE, ресурсні блоки об'єднуються у підмножини, які не перекриваються, і кожна підмножина може бути використана обмеженою кількістю UE.

Як видно з результатів на рис. 10, п'ятий та шостий UE мають найвищі значення відношення сигнал/шум на вході приймача. Отже, в цьому випадку відомий метод максимуму співвідношення сигнал/шум забезпечить надання послуг тільки цим двом UE. У випадку запропонованого удосконаленого методу, відповідно до першого типу розподілу ресурсів, кожний з UE звертається до ресурсних блоків тільки однієї з чотирьох підмножин (результат отримано для вхідних даних, поданих у дисертаційній роботі).

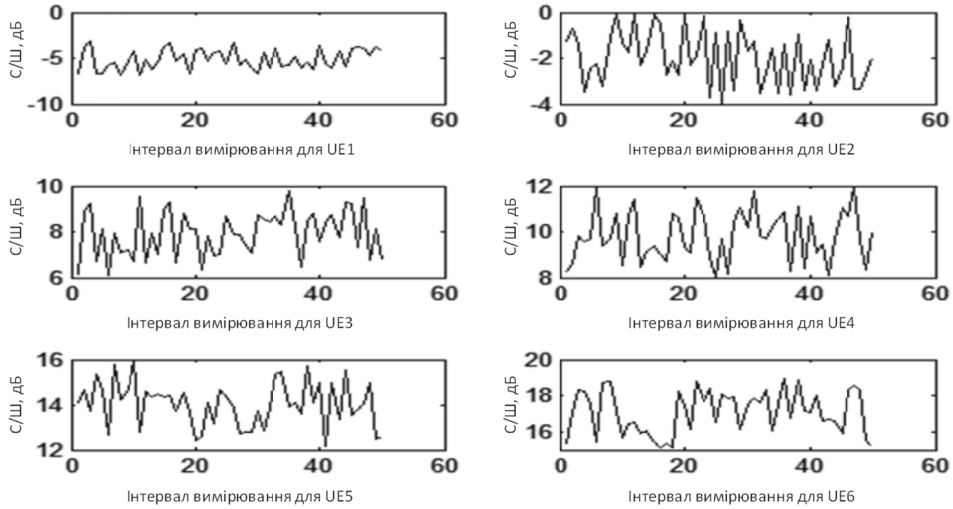


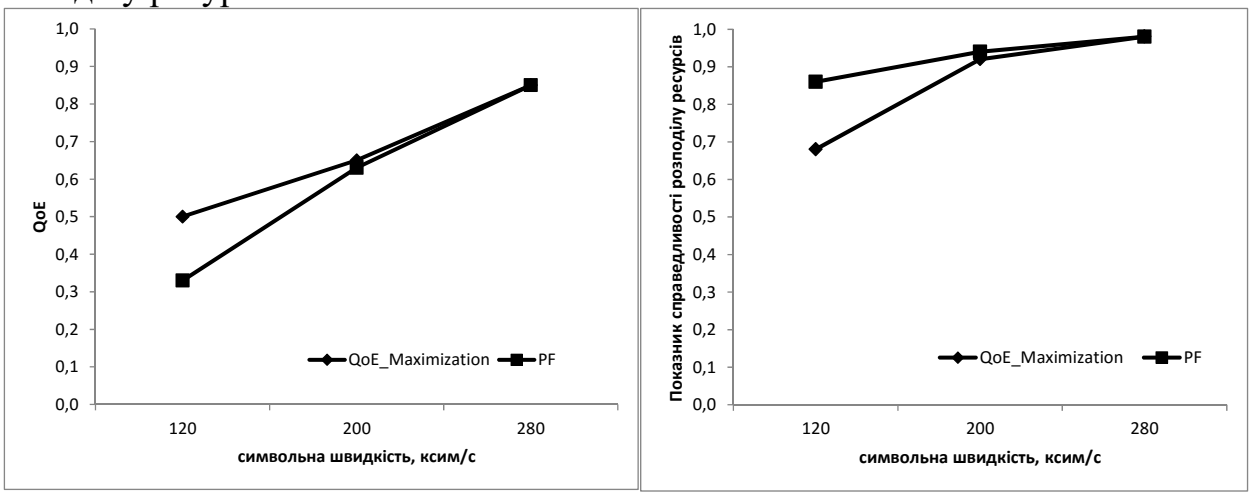

Рис. 10. Змодельовані виміри значень SNR для шести станцій, які знаходяться на різній віддалі від eNodeB

Виходячи з отриманих результатів, представлено матрицю доступу до ресурсів *H*, яка відображає зв'язок між підмножиною ресурсних блоків і UE, що мають до неї доступ (рядки – номери підмножин, стовпці – номери UE):

$$H = \begin{Vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}.$$

На основі запропонованої моделі передавання відеотрафіку в комірці LTE проведено дослідження ефективності стратегій максимізації QoE та забезпечення пропорційно-справедливого розподілу ресурсів.

Результати, представлені на рис. 11, дають змогу обрати баланс між двома стратегіями розподілу ресурсів (максимізація QoE та максимізація показника справедливості розподілу ресурсів), Зокрема, для символьної швидкості 120 ксим/с, перша стратегія забезпечує на 34% вищий рівень показника QoE, однак друга стратегія дає змогу на 21% підвищити показник справедливості розподілу ресурсів.




а б

Рис. 11. Баланс між QoE (а) та показником справедливості розподілу ресурсів (б) (для умов каналу $C_1 = 6, C_2 = 2$)

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв’язано актуальну наукову задачу підвищення якості сприйняття послуг у мережах LTE на основі адаптації радіоканалу, покращення показника справедливості розподілу ресурсів та удосконалення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE.

У роботі отримано такі наукові та практичні результати:

1. В процесі визначення параметрів QoE і QoS, можливі втрати оператора і користувача пов'язані з технічною (апаратне та програмне забезпечення) відмовою. Цими параметрами керують із застосуванням таких методів, як планування мережі, резервування QoS, моніторинг та оптимізація QoE і QoS. Аналіз показує, що існує цілий ряд методів для забезпечення якості обслуговування в сервісно-орієнтованій архітектурі LTE, але їх функціональність обмежена або радіо-мережею e-UTRAN або базовою мережею SAE. Отже, запропоновані у дисертаційній роботі моделі та алгоритми повинні забезпечувати координоване управління якістю обслуговування як в площині користувача, так і у площині управління.

2. Проведено дослідження стандартних моделей для покращення пропускної здатності мережі, QoS і QoE за допомогою відповідного методу компенсаціїї, формування діаграми спрямованості, адаптивного показника якості каналу (CQI) і різних методів розподілу ресурсів для різних послуг. На основі цього досягається підвищення QoS та продуктивності мережі за параметрами CQI. Також проведено дослідження стратегії звітності UE щодо CQI з вибором відповідної MCS, яка забезпечує BLER ≤ 10% на основі вимірювання співвідношення сигнал/шум на вході приймача. Це дослідження демонструє компроміс між високою пропускною здатністю і імовірністю помилки блоку даних (BLER). З вибором модуляції низького порядку eNodeB гарантує більшу імовірність правильної доставки та нижчу швидкість передавання, і навпаки. Система передавання OLSM дає змогу отримати вдвічі більшу пропускну здатність за рахунок погіршення BLER в порівнянні системою з TxD 4x2 ($10^0$ VS. $10^{-3}$ для SNR = 5 дБ). Як видно з результатів дослідження впливу адаптивного діаграмоутворення на пропускну здатність, цей вплив більш очевидний для схем модуляції високого порядку. Наприклад, 64QAM дає змогу отримати збільшення пропускної здатності на 25% за допомогою адаптивного діаграмоутворення.

3. Запропоновано удосконалену модель формування пропускної здатності з урахуванням впливу збільшення числа портів антени і числа символів OFDM на продуктивність мережі. Максимальна пропускна здатність у смузі 1,4 МГц з використанням одного порту антени і двох OFDM символів, призначених на PDCCH, 64-QAM модуляції з кодовою швидкістю 0,85, становить 3,935 Мбіт/с; в смузі 20 МГц з використанням чотирьох антенних портів, модуляції 64-QAM з кодовою швидкістю 0,85 – 276.32 Мбіт/с. З використанням максимально досяжної кодової швидкості 0,92 може бути досягнута пропускна здатність 299.122 Мбіт/с.

4. Удосконалено метод збільшення пропускної здатності низхідного каналу передавання даних LTE з підтримкою QoS з використанням різних типів розподілу ресурсів. Цей метод розподіляє доступні ресурси низхідного каналу LTE на основі максимальної справедливості, максимального відношення сигнал/шум і пропорційно-справедливого розподілу. Запропонований метод здійснює виділення частотно-часових ресурсів низхідного каналу LTE на основі розподілу ресурсних блоків з використанням нульового типу розподілу ресурсів. Таким чином досягається виділення необхідної пропускної здатності для кожного UE без максимізації загальної продуктивності низхідного каналу LTE. Запропонований метод дає змогу на 30% підвищити справедливість розподілу ресурсів у порівнянні з відомими. Використовуючи алгоритм максимізації відношення сигнал/шум, слід вирішити задачу виділенням ресурсних блоків всім UE без можливості захоплення ресурсів найближчим UE до eNodeB. Такий розв’язок у роботі отримано з використанням першого типу розподілу ресурсів із поділом ресурсних блоків на підмножини, які динамічно формуються, а доступ до них надано лише окремим UE.

5. Проведено дослідження продуктивності мережі за допомогою QoE і QoS при відеотрансляції з використанням S-кривої, що обрана в якості моделі для встановлення співвідношення між QoE і швидкістю передавання відеопотоку.

Для цього розроблено нову багатошарову модель потокової групової відеотрансляції в LTE мережі і запропоновано використовувати стандартну E-модель для розрахунку QoE метрики у разі надання послуги VoIP з використанням середовища OPNET. Встановлено, що використання кодеків з високою швидкістю потоку (кодек G.711 з номінальною швидкістю 64 кбіт/с) дає більш високі значення MOS. Інші низькошвидкісні кодеки (GSM-FR, G.723.1 5.3K і G.729 A) дають більш низькі значення MOS. У випадку обмеження пропускної здатності до 120 ксим/с при передаванні відеотрафіку з використанням запропонованої моделі, стратегія максимізації QoE формує одношаровий відеопотік і охоплює тільки 68% користувачів. При цьому використовуємо 3 рівень СКК. З іншого боку, алгоритм PF ділить ресурси на 3 шари і охоплює 100% користувачів шляхом адаптації схеми модуляції і кодування для забезпечення максимального покриття. Отже, кожен з 18% користувачів отримує відео з шару 1 при швидкості передачі даних 80 кбіт/с, кожен з 14% користувачів отримує дані з обох шарів 1 і 2 з сукупною швидкістю даних 114,5 кбіт/с, кожен з решти користувачів може отримувати дані з шарів 1, 2, 3 зі швидкістю 148,5 кбіт/с Зокрема, для символьної швидкості 120 ксим/с, перша стратегія забезпечує на 34% вищий рівень показника QoE, однак друга стратегія дає змогу на 21% підвищити показник справедливості розподілу ресурсів.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Komada Paweł. Throughput Physical Layer Analysis of LTE / Paweł Komada, Haider Al-Zayadi, S. Olszewski, M. Reznikov, Mushtaq Talib Al-Shuraifi // Electronics: Products, Technologies, Applications. – 2013. – № 8. – pp. 63 – 66. (CrossRef, DOI).

2. Al-Shurayfi Mushtaq Talib. Improving Throughput Network Using MIMO-Beamforming / Al-Shurayfi Mushtaq Talib, Al-Zayadi Hayder Hudhair, Mykhaylo Reznikov, Yuriy Khlaponin // Ukrainian Scientific Journal of Information Security, 2014, vol. 20, issue 1, P. 12-16. (UlrichsWeb, РИНЦ, WorldCat)

3. Klymash M.M. Improving Thoughput Using Channel Quality Indicator in LTE Technology / M.M. Klymash, Haider Abbas Al-Zayadi, O.A. Lavriv // Наукові праці ДонНТУ. – Серія: обчислювальна техніка та автоматизація. – 2014. – №1 (26)’2014. – С. 134-143. (РИНЦ)

4. Al-Shuraifi Mushtaq. How to Improve Bit Error Rate and Throughput by Resource Management and Affect it on Quality of Service and Modulation and Coding Schemes in Resource Block for LTE / Al-Shuraifi Mushtaq, Mikhail Reznikov, Al-Zayadi Haider // Електроніка та зв'язок. – № 3. – 2014. – С. 112-118. (Index Copernicus, Ulrich's Web, ResearchBib, Journals4Free, РИНЦ)

5. Al-Zayadi H.A. Mobility Affected on Channel Estimation Using Different Modulation in LTE [Електронний ресурс] / H.A. Al-Zayadi, M.M. Klymash, O.A. Lavriv, M. Al-Shuraifi // Проблеми телекомунікацій. – 2014. – № 2 (14). – С. 30 - 41. – Режим доступу: http://pt.journal.kh.ua/2014/2/1/142_lavriv_lte.pdf. (РИНЦ)

6. Al-Shuraifi Mushtaq. Effected Angular Spread on Beamforming and Transmit Diversity for Indoor and Outdoor / Mushtaq Al-Shuraifi, Haider Al-Zayadi, I.D. Orlevych / Вісник Національного університету "Львівська політехніка",

серія "Радіоелектроніка та телекомунікації". – № 796. – 2014. – С. 22-28. (Index Copernicus, Google Scholar)

7. Al-Zayadi Haider, Al-Shuraifi Mushtaq, Al-Sharify Talib. SNR Effect on CQI Applying Multiple Antennas in Closed Loop Spatial Multiplexing Mode in LTE Technologies / Haider Al-Zayadi, Mushtaq Al-Shuraifi, Talib Al-Sharify // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – № 6(34). С. 92-97. (Google Scholar).

8. Al-Zayadi Haider. Improve Quality of Service (QoS) Using Equalization Techniques / Al-Zayadi Haider, Samer Salah Thabit // International Journal of Science and Research (IJSR). – Vol.4. – Issue 7. – July 2015. – pp. 707-710. Available with: http://www.ijsr.net/archive/v4i7/SUB156269.pdf (Index Copernicus, SJIF)

9. Al-Zayadi Haider. Priority allocation method of the bandwidth downlink of LTE technology / Al-Zayadi Haider, Al-Sharify Mushtaq Talib, Yuriy Khlaponin, AL-Sharify Talib // Наукоємні технології. – Том 26. – №2 (2015). –2015. – С. 166-171. (UlrichsWeb, РИНЦ Index Copernicus).

10. Al-Zayadi Haider. Ensuring QoE and Fairness of LTE Resource Allocation During Video Streaming / Haider Al-Zayadi // Вісник Національного університету "Львівська політехніка", серія "Радіоелектроніка та телекомунікації". – № 818. – 2015. – С. 231-241. (Index Copernicus, Google Scholar)

11. Effect Type of Modulation on Peak-to-Average Power Ration (PAPR) in 3GPP for OFDMA And SC-FDMA [Al-Shuraifi Mushtaq, Al-Zayadi Haider]: Proceedings of the 12th International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Dedicated to the 170th Anniversary of Lviv Polytechnic National University TCSET'2014. – February 25-March 1. – 2014. – Lviv-Slavske, Ukraine. – Publishing House of Lviv Polytechnic. – pp. 478-480.

12. Improve Bit Error Rate Using Equalization Techniques [Al-Zayadi Haider]: Proceedings of the 12th International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Dedicated to the 170th Anniversary of Lviv Polytechnic National University TCSET'2014. – February 25-March 1. – 2014. – Lviv-Slavske, Ukraine. – Publishing House of Lviv Polytechnic. – pp. 516-517.

13. QoE Estimation on the Basis of LTE Service Architecture [Haider Abbas Al-Zayadi, Orest Lavriv, Mykhailo Klymash]: Proceedings of the 12th International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Dedicated to the 170th Anniversary of Lviv Polytechnic National University TCSET'2014. – February 25-March 1. – 2014. – Lviv-Slavske, Ukraine. – Publishing House of Lviv Polytechnic. – pp. 590-592.

14. Способи валідації якості обслуговування в безпровідних мережах широкосмугового доступу [Климаш М.М., Хайдер Аббас Аль-Заяді, Осипова М.Б.]: Матеріали 8-ої Міжнародної науково-технічної конференції "Проблеми телекомунікацій – 2014" (ПТ-14). – 22-25 квітня 2014 р. – Київ, Україна. – С. 115-117.

15. Performance Enhancement of MIMO-OFDM Technology. [Al-Zayadi H. K.]: Материалы 17-го международного молодежного форума

"Радиоелектроника и молодежь в 21 веке". Международная конференция "Перспективы развития телекоммуникационных и информационно-измерительных технологий". Харьков, Украина. – том 4. . – 22-24 апреля 2013 г. – С. 17-18.

16. Effective Type of Modulation For LTE Throughput Increase [Mushtaq Al-Shuraifi, Haider Al-Zayadi , Mykhailo Klymash]: Proceedings of X$^{th}$ International Conference "Perspective technologies and methods in MEMS design" MEMSTECH'2014. – 22-24 June 2014. Lviv, Ukraine. pp. 65-66.

17. Increase Throughput by Expectation Channel Quality Indicator [Haider AL-Zayadi, Orest Lavriv, Mykhailo Klymash, Al-Shuraifi Mushtaq]: Proceedings of the 2014 First IEEE International Scientific-Practical Conference "Problems of Infocommunications: Science and Technology" PIC S&T'2014. – October 14-17, 2014. – Kharkiv, Ukraine. – pp. 120-121.

18. Bandwidth Allocation Problems of LTE Cell Network [Klymash M.M., Shushara Yu.M., Haider Abbas Al-Zayadi]: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2014" (СПТЕЛ-2014). – 30 жовтня-02 листопада 2014 р. – Львів, Україна. – С. 143-144.

19. LTE Channel Capacity and its Influence on the QoE in the Case of Video Transmission [Haider Abbas Al-Zayadi, Mykhailo Klymash]: Proceedings of the XXII Ukrainian–Polish conference CADMD'2014. – October 10-11, 2014. – Lviv, Ukraine. – pp. 118-121.

20. The Problem of Downlink Channel Bandwidth Capacity Allocation in LTE Technology [H. Al-Zayadi]: Proceedings of the 13$^{th}$ International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2016. – February 23-26. – 2016. – Lviv-Slavske, Ukraine. – Publishing House of Lviv Polytechnic. – pp. 940-942.

21. Improving QoS in MAX C/I Scheduling Using Resource Allocation Type 1 of LTE [Mushtaq Al-Shurafi, Haider Al-Zayadi, Orest Lavriv, Mykhailo Klymash] Proceedings of the XIII$^{th}$ International Conference "The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics" (CADSM'2015). – 24-27 February 2015. – Polyana-Svalyava. – pp. 12-14.

22. Effected VOIP Service by Means Subjective Method Using MOS in LTE Network [Haider Al-Zayadi, Mushtaq Al-Shuraifi, Talib Al-Sharify, Zainab Al-Sharify] 5$^{th}$Annual BEAR PGR. – 15$^{th}$ December 2014. – Birmingham, UK. pp. 47-57.

23. QoE-based Monitoring of LTE Networks [Al-Zayadi Haider, Koval Bohdan] Proceedings of the 2015 1$^{st}$ International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015). – Lviv. – Ukraine. – October 29 – November 1. – 2015, С. 53-54.

## АНОТАЦІЯ

**Хайдер Худхаір Аббас Аль-Заяді. Підвищення якості сприйняття послуг для абонентів мереж 4G на основі моделі сервісної архітектури LTE.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Національний університет "Львівська політехніка", Львів, 2016.

У дисертаційній роботі розв’язано актуальну наукову задачу підвищення якості сприйняття послуг у мережах LTE на основі адаптації радіоканалу, покращення показника справедливості розподілу ресурсів та підвищення ефективності міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE.

Запропоновано математичні моделі компонентів радіоканалу LTE, які дають можливість адаптувати пропускну здатність мережі, якість обслуговування і якість сприйняття послуг до умов середовища між абонентом та базовою станцією.

Проведено дослідження пропускної здатності та якості обслуговування в LTE із застосуванням нових та удосконалених моделей і методів управління ресурсами та формування пропускної здатності для висхідного та низхідного фізичних каналів.

Виконано дослідження набору параметрів, які впливають на пропускну здатність, якість обслуговування та якість сприйняття інфокомунікаційних послуг. Дослідження базується на розроблених у роботі методах та моделях, а також враховує базові комунікаційні технології стандарту LTE, моделі яких подано у другому розділі дисертаційної роботи.

**Ключові слова:** пропускна здатність, QoE, QoS, LTE, розподіл ресурсів.

## АННОТАЦИЯ

**Хайдэр Худхаир Аббас Аль-Заяди. Повышение качества восприятия услуг для абонентов сетей 4G на основе модели сервисной архитектуры LTE.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Национальный университет "Львивська политэхника", Львов, 2016.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача повышения качества восприятия услуг в сетях LTE на основе адаптации радиоканала, улучшения показателя распределения ресурсов и повышения эффективности межуровневого взаимодействия сервисной архитектуры LTE.

Предложены математические модели компонентов радиоканала LTE, которые дают возможность адаптировать пропускную способность сети, качество обслуживания и качество восприятия услуг к условиям среды передачи между абонентом и базовой станцией.

Проведено исследование пропускной способности и качества обслуживания в LTE с применением новых и усовершенствованных моделей и методов управления ресурсами и формирования пропускной способности для восходящего и нисходящего физических радиоканалов.

Выполнено исследование набора параметров, которые вливают на пропускную способность, качество обслуживания и качество восприятия инфокоммуникационных услуг. Исследование базируется на разработанных в работе методах и моделях, а также учитывает базовые коммуникационные технологии стандарта LTE, модели которых представлены во второй главе диссертационной работы.

**Ключевые слова:** пропускная способность, QoE, QoS, LTE, распределение ресурсов.

**ABSTRACT**

**Haider Khudhair Abbas Al-Zayadi. Experience quality increasing for 4G subscribers on the basis of LTE Service Architecture Model. –** On the rights of manuscript.

A thesis submitted in fulfilment of the PhD in technical sciences on specialty 05.12.02 – telecommunication systems and networks. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2016.

The thesis solves an important and actual scientific task of improving the services QoE in networks based on LTE radio link adaptation, improvement of resource allocation and efficiency of cross-layer interaction of LTE service architecture. We analyze the main challenges is QoE and QoS assurance in wireless mobile networks of 4G class. We depict also the main techniques and methods to assure the service quality and user experience based on throughput adaptation and radio-frequency resource allocation. As a conclusion we summarized drawbacks in modern methods and formulated the goal of our research: to develop new and improve existing methods of QoS and QoE assurance in LTE network based on throughput increasing and sophisticated resource allocation.

It is necessary to maintain the balance between the network capacity and bit error rate for wireless communication. This can be achieved by improving the efficiency of methods and models of resource allocation in LTE cell.

The research of the standard models for network throughput, QoS and QoE improvement is performed using appropriate equalization technique, beamforming, higher channel quality indicator (CQI), and different resource allocation techniques for different services.

In the thesis there is presented new model for throughput improvement considering effect of increasing number of antenna ports and number of OFDM symbols on network performance using MU-MIMO combined with SU-MIMO model.

The thesis proposes the upgraded method for increasing performance of LTE downlink by means of QoS using different types of scheduling. This method allocates available resources of LTE downlink, operating under the Maximum Fairness, Max C/I Ratio and Proportional Fair Scheduling algorithms.

We performed the research of network performance under video streaming by means of QoE and QoS using S-curve chosen as a model that summarizes relationship between QoE (Quality of Experience) and video transmission rate. For this purpose we designed a novel multi-layer model of group video streaming in LTE network.

**Keywords: throughput, QoE, QoS, LTE, Resource Allocation.**

Здано в набір 26.04.2016 р. Підписано до друку 18.05.2016 р.
Формат 60x90 1/16. Зам. № 1750.
Тираж 130 прим. Обсяг 0,9 друк. арк.
Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO
у друкарні ПП "Арк-сервіс"
79005, м. Львів, вул. Драгоманова, 16