

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Методи і засоби оптимізації передачі трафіку в мобільних мережах**

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи СІМ-61
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Ліщина В.В.</u> (підпис)	<u>Ліщина В.В.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Луцик Н.С.</u> (підпис)	<u>Луцик Н.С.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Тиш Є.В.</u> (підпис)	<u>Тиш Є.В.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Осухівська Г.М.</u> (підпис)	<u>Осухівська Г.М.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Дуда О. М.</u> (підпис)	<u>Дуда О. М.</u> (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Ліщині Вадиму Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи і засоби оптимізації передачі трафіку в мобільних мережах

Керівник роботи Луцик Надія Степанівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри КС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «06» грудня 2022 року № 4/7-986

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.12.2022 р.
3. Вихідні дані до роботи Організація передачі даних в мобільних мережах, архітектура мережі LTE, моделі передачі трафіку в мобільних мережах.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Характеристика і аналіз роботи мобільних мереж
2. Аналіз методів керування передачею трафіку на фрагменті мобільної мережі
3. Експериментальне дослідження методів оптимізації передачі трафіку в мобільних мережах
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Актуальність і мета дослідження.
2. Задачі дослідження, об'єкт і предмет, наукова новизна і практична цінність дослідження.
3. Архітектура мобільної мережі .
4. Схеми моделей доступу
5. Алгоритми роботи і класи імітаційної моделі.
6. Схема функціонування побудованої моделі мобільної мережі.
7. Результати експериментального дослідження.
8. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека надзвичайних ситуаціях,</i>			
<i>Охорона праці</i>			

7. Дата видачі завдання 15.12.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз сучасних технічних проблем передачі трафіку в мобільних мережах</i>	<i>14.11.2022-20.11.2022</i>	<i>виконано</i>
2	<i>Оцінка показників якості обслуговування заявок у мережах LTE</i>	<i>20.11.2022 – 27.11.2022</i>	<i>виконано</i>
3	<i>Формалізація процесу керування передачею потоків трафіку на фрагменті мережі LTE</i>	<i>27.11.2022 – 04.12.2022</i>	<i>виконано</i>
4	<i>Дослідження адаптивних алгоритмів резервування ресурсів управління швидкостями під час перевантажень при передачі трафіку в мережах LTE</i>	<i>04.12.2022–08.12.2022</i>	<i>виконано</i>
5	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>08.12.2022-12.12.2022</i>	<i>виконано</i>
6	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>12.12.2022-14.12.2022</i>	<i>виконано</i>
7	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>14.12.2022</i>	<i>виконано</i>
8	<i>Захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>22.12.2022</i>	

Студент

_____ (підпис)

Ліщина Вадим Васильович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Луцик Надія Степанівна

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Методи і засоби оптимізації передачі трафіку в мобільних мережах // Кваліфікаційна робота // Ліщина Вадим Васильович // ТНТУ, комп'ютерна інженерія, група СІм-61 // Тернопіль, 2022 // с. – 66, рис. – 32, табл. – 2, аркушів А1 – 8, додат. – 1, бібліогр. – 30.

Ключові слова: мобільні мережі, пропускна здатність, імітаційне моделювання, трафік, еластичний трафік.

У кваліфікаційній роботі магістра проведено дослідження моделей та алгоритмів підвищення ефективності передачі трафіку в мобільних мережах четвертого покоління при спільному обслуговуванні заявок на передачу різнорідного трафіку, створюваного як сервісами реального часу, так і передачею даних.

Для вирішення поставленого завдання процеси надходження та обслуговування заявок представлені математичними моделями

Під час розробки моделей враховувалися: багатопотоковий характер надходження заявок кожного типу; залежність надходження заявок передачі даних та ймовірності допуску заявки до обслуговування від наявності необхідного вільного ресурсу та від ступеня його завантаження.

Сформульовано визначення основних характеристик якості спільного обслуговування заявок різнорідного трафіку. Значення характеристик оцінювалися як з допомогою імітаційного моделювання, і з допомогою математичних моделей.

Запропоновано запровадження гарантованої границі максимальної швидкості еластичного трафіку, показано, що цей поріг має динамічно визначатися на основі постійних спостережень.

ABSTRACT

Methods and means of optimizing traffic transmission in mobile networks // Master thesis // Lyshchyna Vadym Vasyliovych // TNTU, computer engineering, group CIm-61 // Ternopil, 2022 // p. – 66, fig. - 32, tab. - 2, sheets A1 - 8, add. – 1, bibliography. - 30.

Keywords: mobile networks, bandwidth, simulation, traffic, elastic traffic.

In the master's thesis, the study of models and algorithms for increasing the efficiency of traffic transmission in fourth-generation mobile networks during the joint service of applications for the transmission of heterogeneous traffic, created both by real-time services and data transmission, was carried out.

To solve the task, the processes of receipt and service of applications are represented by mathematical models

During the development of the models, the following were taken into account: the multi-stream nature of the receipt of applications of each type; the dependence of the receipt of data transfer applications and the probability of the application being accepted for service on the availability of the necessary free resource and on the degree of its loading.

The definition of the main characteristics of the quality of joint service of requests for heterogeneous traffic is formulated. The values of the characteristics were estimated both with the help of simulation modeling and with the help of mathematical models.

It is proposed to introduce a guaranteed limit of the maximum speed of elastic traffic, it is shown that this threshold should be dynamically determined on the basis of constant observations.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ РОБОТИ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ	13
1.1. Архітектура мобільної мережі	13
1.2. Структура користувацького рівня мережі LTE	15
1.3. Проблеми передачі даних в мобільних мережах	17
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ПЕРЕДАЧЕЮ ТРАФІКУ НА ФРАГМЕНТІ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	25
2.1. Формалізація процесу керування передачею потоків трафіку на фрагменті мережі LTE	26
2.1.1. Модель обслуговування двошвидкісного трафіку реального часу на фрагменті мобільної мережі	26
2.1.2. Модель обслуговування двошвидкісного трафіку реального часу на фрагменті мобільної мережі із обмеженням для низькошвидкісних з'єднань	28
2.2. Імітаційна модель мобільної мережі при передачі заявок реального часу	29
2.3. Імітаційна модель мобільної мережі при передачі заявок двох потоків еластичного трафіку	33
РОЗДІЛ 3 АПРОБАЦІЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕДАЧІ ТРАФІКУ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ	38
3.1. Моделювання радіоканалу передачі між UE та eNodeB	38
3.2. Модель обслуговування неоднорідного трафіку на фрагменті мобільної мережі	42
3.3. Аналіз основних імовірнісних характеристик моделі передачі трафіку	45
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	52
4.1. Охорона праці	52
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	54

ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
Додаток А. Тези конференцій	61

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

HSS англ. Home Subscriber Server сервер абонентських даних

LTE англ. Long Term Evolution мобільний протокол передавання даних

MME англ. Mobility Management Entity ключовий модуль контролю для мережі доступу LTE

PCRF англ. Policy Control and Charging Rules Function вузол управління політикою обслуговування

PDNGW англ. Public data network Gateway шлюз для передачі даних

QA англ. Quality Assurance забезпечення якості

SAE англ. System Architecture Evolution архітектура ядра мережі, розроблена консорціумом 3GPP для стандарту бездротового зв'язку LTE.

SINR англ. Signal to Interference Noise Ratio відношення сигнал/завада

EPC англ. Evolved Packet Core пакетна система нового покоління, що включає ядро пакетної мережі нового покоління

ВСТУП

Актуальність теми. Мобільні мережі четвертого покоління, засновані на використанні технології багатостанційного доступу з ортогональною модуляцією OFDMA та методом просторового кодування сигналу МІМО, дають можливість суттєво збільшити передачу трафіку від абонентів.

Відмінними рисами цих мереж є: гнучкість архітектури, можливість динамічної зміни топології мережі при підключенні, пересуванні та відключенні мобільних абонентів, висока швидкість передачі інформації, високий ступінь захисту від несанкціонованого доступу. У мережах стандарту LTE керуючі функції перейшли до базових станцій. При цьому однією з головних проблем є проблема керування трафіком на радіоінтерфейсі з метою забезпечення заданих норм якості (QoS) за кожною послугою абонентів, зокрема для тих, хто перебуває в роумінгу.

Зростання обсягу мультимедійних додатків призводить до того, що для необхідної якості обслуговування необхідно запроваджувати нові методи підвищення пропускної здатності радіоінтерфейсу [19].

Найбільший вплив на управління продуктивністю в мобільних мережах надають такі фактори: порушення цілісності інформації команд управління мережевими процесами; блокування інформації; порушення логіки роботи програмного забезпечення. Аналіз результатів роботи існуючих мереж LTE показав, що їх управління використовується автоматична функція управління мережею SON, яка апаратно вбудовується в устаткування вузлів мережі. Однак ця функція може тільки вводити обмеження за кількістю з'єднань, не обмежуючи при цьому швидкість передачі даних, що є нераціональним, зокрема, при організації роумінгу.

Спочатку моделі оцінки ресурсів мобільних мереж включали лише однорідний тип трафіку, для яких були знайдені аналітичні рішення і розроблені рекурентні алгоритми. Пізніше були розроблені алгоритми рішення для різномірного трафіку, що має постійну швидкість. У зв'язку з появою додатків, що не потребують постійної швидкості передачі даних, почав проводитися облік моделей еластичного трафіку даних. Однак ці дослідження проводилися без урахування схем доступу, що

реалізують пріоритетне обслуговування мультисервісних мобільних мереж четвертого покоління.

У діючих та перспективних мобільних мережах зв'язку актуальним є завдання зниження нестачі ресурсів у зв'язку з появою сервісів, які потребують великої швидкості передачі. Тому, щоб підвищити ефективність ресурсу передачі, пропонується керувати швидкістю еластичного трафіку. Це дозволить не лише підвищити пропускну спроможність, а й покращити якість обслуговування.

Розробці методів управління трафіком, а також питанням розрахунку статистичних характеристик для телекомунікаційних мереж присвячені роботи дослідників M. Stasiak, J. Roberts, W. Willinger, O. Martikainen, K. Ross, C. Cox, V. Iversen, T. Bonald, H. Hassanein, F. Kelly, N. Nasser, та ін. Однак, у них не розглядалися особливості мобільних мереж стандартів LTE та LTE-Advanced, зокрема можливість раціонального використання радіочастотного спектру, зумовлена особливістю побудови інтерфейсів обладнання мобільного доступу у цих мережах. В даний час цей спосіб може знайти широке застосування при управлінні швидкістю передачі різномірного трафіку від різних видів послуг у цих мережах з метою мінімізації витрати радіоресурсу. У зв'язку з цим постає завдання розробки нового методу управління інформаційним навантаженням у мобільних мережах четвертого покоління.

Мета кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження методу, що реалізує алгоритми підвищення пропускну здатності мобільних мереж, за рахунок керування швидкістю передачі еластичного трафіку.

Для того, щоб досягти мети, необхідно вирішити наступні задачі:

- розглянути теоретичні засади роботи мереж LTE, що дозволить здійснювати аналіз наявних методів оптимізації передачі даних;
- побудувати та дослідити математичну модель обслуговування різномірного трафіку у соті мережі четвертого покоління;
- з використанням моделі визначити характеристики якості обслуговування заявок та побудувати ефективні алгоритми їх оцінки;
- на підставі отриманих результатів сформулювати рекомендації щодо

управління різнорідним трафіком.

Об'єкт дослідження: моделі, в якій враховані залежності надходження та обслуговування заявок реального часу та еластичного трафіку фрагмента мобільної мережі.

Предмет дослідження: методи оптимізації передачі даних в мобільних мережах.

Методи дослідження: Для вирішення поставлених завдань використовуються методи теорії мереж зв'язку, теорії ймовірностей, теорії масового обслуговування, обчислювальної математики та методи математичного та імітаційного моделювання.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, запропоновано рішення задачі вдосконалення методів контролю пропускної здатності фрагмента мережі. При цьому вирішено завдання обмеження швидкості передачі даних фрагмента мобільної мережі.

Практичне значення результатів кваліфікаційної роботи Можливість використання в алгоритмах мобільних мереж LTE і LTE Advanced. Розроблений інструментарій рекомендується використовувати під час проектування та експлуатації мобільних мереж четвертого покоління.

Публікації. Результати дослідження апробовано на X науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології», XI міжнародній науково-технічній конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (7-8 грудня 2022 року), у вигляді тез конференцій.

1. Ліщина В., Жаровський Р. Методи підвищення пропускної здатності в мережах LTE. Матеріали X науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 86.

2. Ліщина В., Луцик Н. Проблеми забезпечення якості передачі даних в мобільних мережах стандарту LTE. Матеріали XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 186.

Структура роботи. До складу кваліфікаційної роботи магістра входить розрахунково-пояснювальна записка та графічний матеріал. Розрахунково-пояснювальна записка містить вступ, 4 розділи, загальні висновки, список використаної літератури і додатки. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальної записки – 78 арк. формату А4, графічна частина – 8 аркушів формату А1.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ РОБОТИ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Головними напрямками еволюції систем мобільного зв'язку [1] є покращення якості надання мультимедійних послуг, зниження витрат абонентів та зменшення експлуатаційних витрат. Бурхливий розвиток бездротових мереж передачі інформації в Україні [1,2] і в усьому світі, пов'язано з такими їх перевагами:

-гнучкість архітектури, тобто можливість динамічної зміни топології мережі при підключенні, пересуванні та відключенні мобільних користувачів без значних витрат;

-швидкість проектування та розгортання;

-висока швидкість передачі даних;

-високий рівень захисту;

-відмова від фізичних ліній зв'язку.

Метою цього розділу є аналіз способів управління пропускнуою здатністю над фрагментами мережі стандарту LTE.

1.1. Архітектура мобільної мережі

На даний момент самою поширеною технологією, що реалізує зв'язок над розподіленими мобільними об'єктами, є LTE [18]. Дана технологія передбачає використання мережевої інфраструктури SAE, що забезпечує високий рівень керування [18]. Також передбачена підтримка послуг на базі мережевих протоколів IP. Також передбачена можливість безперервних послуг передачі даних при зміні розміщення абонента відносно різних мобільних станцій.

Мережа LTE (рис. 1.1) складається з наступних основних компонентів: радіомережі E-UTRAN та базової пакетної мережі EPC.

Мережі LTE взаємодіють з мережами 3GPP як при забезпеченні роумінгу, так і у випадку хендовера. Для міжмережної взаємодії з 3GPP LTE використовують технології комутації пакетів на базі IMS і комутації каналів (TDM)[6].

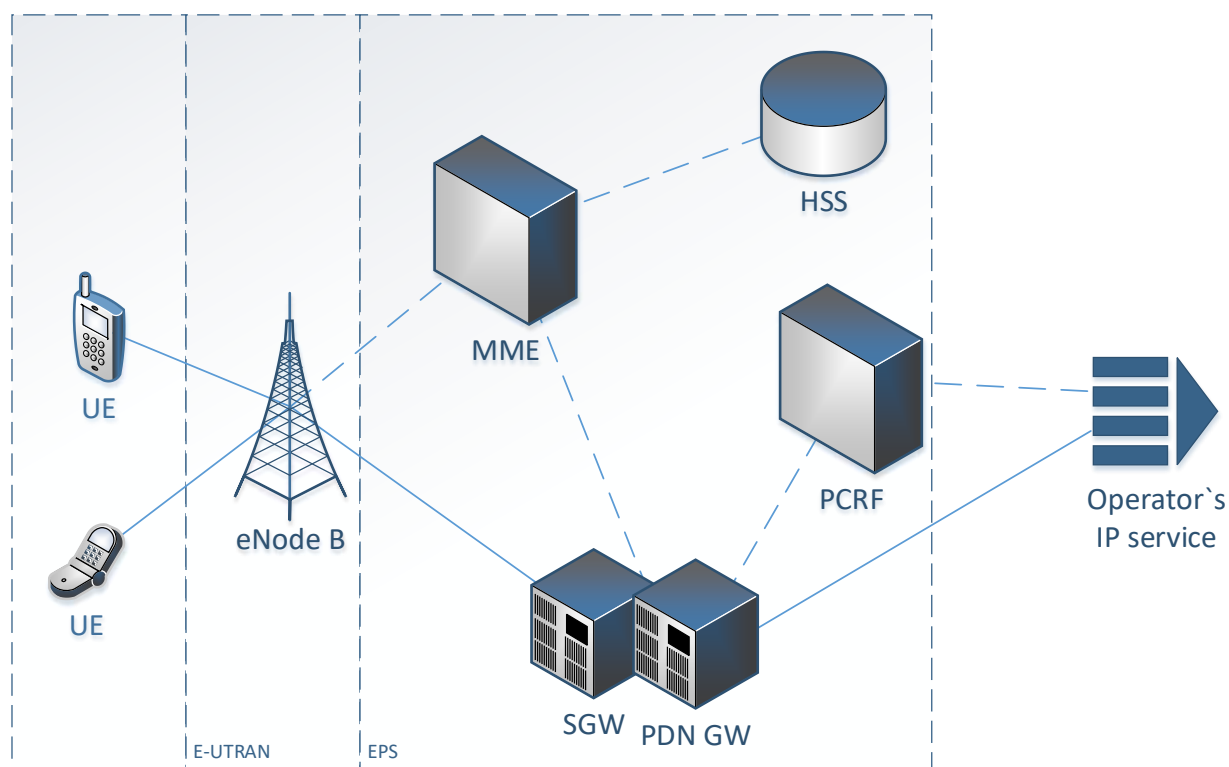


Рис. 1.1. Архітектура мобільної мережі (LTE)

Головним елементом радіоінтерфейсу мережі E-UTRAN є базові станції eNodeB. Ці станції забезпечують не лише передачу даних, але і здійснюють функції контролю мережі передачі. Завдяки такому рішенню зменшується рівень затримок і об'єм керуючої і сервісної інформації між елементами мережі.

EPS [10] є базовою мережею інформаційного обміну і складається з наступних елементів:

- MME здійснює керування мобільністю. Сховище даних NAS Security є складовою MME і використовується для забезпечення безпеки;
- SGW шлюз, здійснює обробку і маршрутизацію пакетів;
- PDN GW шлюз, відповідає за передачу даних до інших типів мереж, таких як 2G, 3G, та Internet;
- HSS, сервер відповідає за зберігання інформації про абонентів;
- PCRF відповідає за тарифікацію.

Розвиток Wi-Fi [17] сприяв створенню гібридних базових станцій що здатні працювати в різних типах безпроводних мереж. В SAE для цього розроблено механізми оптимального підбору типу мережі для передачі даних.

Із збільшенням мультимедійного трафіку виникла потреба забезпечити безпеку мережі при збільшеному навантаженні на неї і збереженні чи навіть підвищенні пропускної здатності.

1.2. Структура користувацького рівня мережі LTE

Розглянемо схему (рис. 1.2) мобільної мережі на користувацькому рівні. Сигнали від абонентів приймаються базовими станціями eNodeB. Обладнання абонента і станції eNodeB здійснюють взаємну аутентифікацію з використанням повідомлень (talking). Для обмеження рівня навантаження між окремими станціями вузли MME обладнані інтерфейсом X2. Ці інтерфейси використовуються для перепідключення між станціями eNodeB абонентів які рухаються. По суті в мобільній архітектурі SAE використовують MESH-технологію. Завдяки цьому рішення заявки перенаправляються не через основну мережу, а обмежуються інформаційним обміном між стільниками мережі куди підключається абонент, тобто навантаження основної мережі значно зменшується.

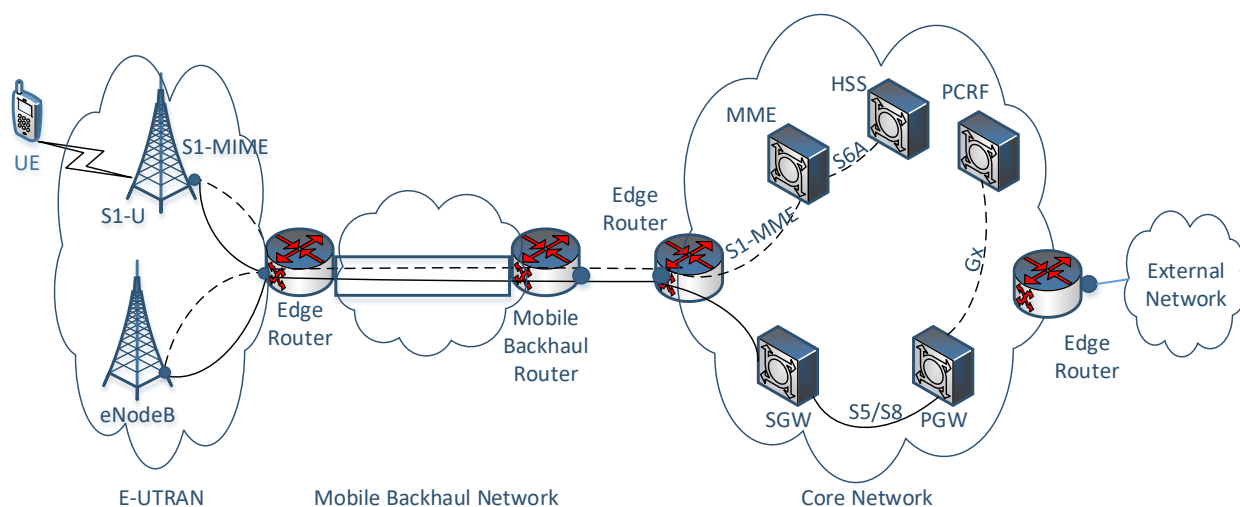


Рис. 1.2. Архітектура мобільної мережі з інфраструктурою SAE

Вузли MME здійснюють обробку службових інформаційних повідомлень: автентифікація, пошук шлюзу обслуговування (S-GW), обробку службових сигналів, причому службове навантаження в мобільній мережі не обмежується.

Шлюз S-GW здійснює обробку інформаційного трафіку, що відповідає за приєднання обладнання користувача до базової мережі при хендоверах. Також, S-GW веде білінг того скільки скачаного трафіку та фіксує історію серверів з яких інформація була отримана.

PDNGW – шлюз для передачі даних з мобільної мережі до інших мереж. Тобто основна функція PGW полягає у здійсненні маршрутизації мережевого трафіку.

HSS (Home Subscriber Server) — сервер абонентських даних стандарту LTE, який є базою даних і фактично замінює набір таких реєстрів, як VLR, HLR та інших, які використовувалися в мережах 2G та 3G.

Власне, HSS є «мозком» IMS - специфікації передачі мультимедійного вмісту з урахуванням IP-протоколу. Саме від цієї складової і того, як вона реалізована в мережі оператора, багато в чому залежить його майбутнє та майбутнє телекомунікаційного ринку в цілому. У базі даних на цьому сервері зберігається інформація про різноманітні переваги абонента, наприклад, по переадресації та фільтрації дзвінків, оповіщення та повідомлення голосової пошти, персональна адресна книга і т.д. Також на сервері HSS є всі необхідні дані для обліку доступності та статусу абонента. Причому для того, щоб отримати доступ до всіх послуг, що надаються сервером HSS, абонент повинен пройти процес аутентифікації лише один раз і, як було зазначено вище, не відвідуючи офіс Azercell Ekspres, а маючи лише SIM-картку нового зразка USIM.

Я хочу відзначити, що це технологія майбутнього стільникового зв'язку, тому що в кінцевому підсумку ми прийдемо до стандарту 5G і в цьому випадку HSS виявиться незамінним на тлі обсягів мультимедійного контенту, що зростають.

Вузол управління політикою обслуговування Policy Controller (PCRF)

У міру створення нових, все менш схожих один на одного Інтернет-додатків, збільшується і кількість типів трафіку, що пред'являють вимоги до QoS мережі

передачі даних, що суттєво відрізняються. Для забезпечення гарантованої якості обслуговування операторам мобільних мереж необхідний механізм інтелектуального розподілу смуги пропускання та стягування відповідної плати з абонентів.

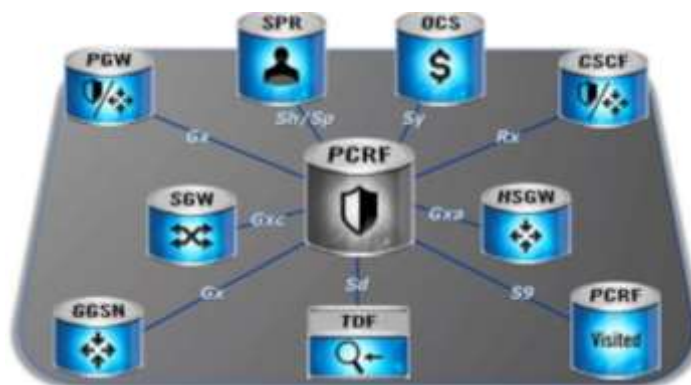


Рис.1.3. Вузол управління політикою обслуговування Policy Controller

PCRF Policy Controller, як 3GPP-сумісний PCRF (Policy Control and Charging Rules Function), дозволяє змінювати властивості Інтернет-каналу, що надається абоненту, і правила тарифікації безпосередньо під час сесії. Таким чином, мережа 3G або LTE, оснащена Policy Controller, адаптує свої параметри для найбільш ефективної монетизації послуги передачі даних.

Policy Controller – це інтелектуальний вузол керування параметрами якості обслуговування та правилами тарифікації абонентів мобільного Інтернету в мережах 3G та LTE. Оснащений легкокерованим модулем прийняття рішень, Policy Controller дозволяє втілити бізнес-вимоги оператора до правил обслуговування та тарифікації, забезпечуючи динамічний розподіл мережевих ресурсів.

1.3. Проблеми передачі даних в мобільних мережах

Як говорилося, мережі 3G/4G підтримують безліч функцій, зручних як абонентів, так провайдерів. На жаль, ці можливості породжують свої специфічні проблеми.

1.3.1. Збільшення числа базових станцій

Для досягнення високої пропускної здатності необхідна значно більша смуга частот. Наприклад, для нормальної роботи HSPA потрібна смуга 5 МГц, а LTE і WiMAX — щонайменше 10 МГц. В результаті для систем 3G/4G кращі вищі частотні діапазони. Але що вище частота, то більше вписувалося БС доводиться встановлювати у заданій області. Це суттєво збільшує витрати на будівництво та оренду майданчиків, а технічним службам доводиться обслуговувати вдвічі-втричі більше точок, ніж раніше.

2. Велика кількість активних пристроїв та ВЧ-компонентів в антенно-фідерних системах.

У мережах 3G/4G використовуються різні технології, спрямовані на покращення зони покриття висхідного та низхідного каналів. В результаті в антенно-фідерні системи доводиться встановлювати багато активних ВЧ-компонентів (наприклад, підсилювачі, виносні радіоголовки (RRH), виносні регулятори нахилу та інтелектуальні антени). Такі пристрої повинні правильно встановлюватися, оптимізуватися та обслуговуватися, в іншому випадку вони можуть викликати перебої зв'язку та завади (наприклад, насичення ТМА при спробі підвищити потужність у висхідному каналі).

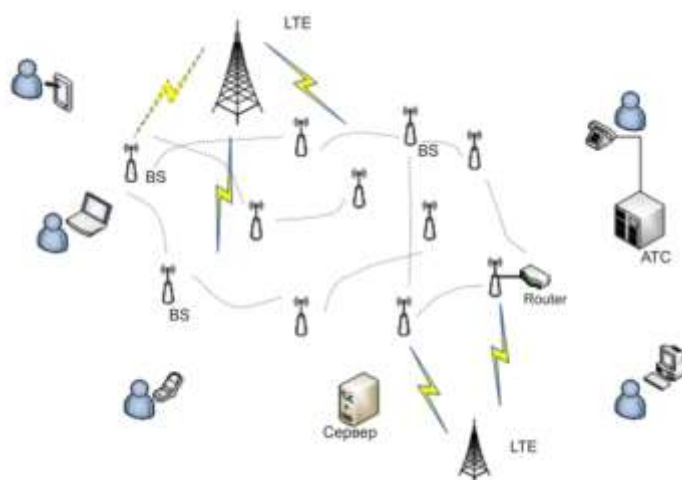


Рис. 1.4. Використання різноманітного обладнання для організації зв'язку

Переважає більшість мереж 3G/4G співіснує з мережами 2G, а це обмежує місце для прокладання нових коаксіальних кабелів та встановлення антен. Для

вирішення цієї проблеми використовується велика кількість дуплексерів та дуплексерів. Однак ці компоненти вносять додаткові втрати та зрештою скорочують зону покриття. Крім того, дуплексери та дуплексери мають певну смугу пропускання та можуть маскувати відмови фідерних ліній, що ускладнює визначення відстані до місця пошкодження. Тому рекомендується відключати системні дуплексери перед перевіркою кабелів.

3. Високе відношення пікової потужності до середньої

Для підвищення пропускну здатності у мережах 3G/4G застосовуються схеми модуляції вищого порядку: у 3G використовується модуляція QPSK чи 16QAM, а мережах 4G — OFDM. Одним із наслідків застосування таких схем модуляції є підвищене відношення пікової потужності до середньої. Так, для WCDMA це відношення дорівнює 8-10 дБ, а для OFDMA - 10-12 дБ. Це означає, що один 20 Вт передавач може видавати до 200-320 Вт пікової потужності, а це занадто багато.

Зрештою потужність системи може значно змінюватися. Висока потужність сильно навантажує компоненти системи, що призводить до виникнення інтермодуляційних спотворень — зокрема, породжуючи пасивну інтермодуляцію (PIM). Якщо інтермодуляційні складові потрапляють у висхідний канал, можуть блокувати роботу всієї базової станції.

4. Антенно-фідерні системи.

Антенно-фідерні системи також можуть створювати завади. Для кращого розуміння цього факту уявіть антенно-фідерну систему мережі 3G/4G у вигляді водопроводу. Будь-який витік у трубах викликає зміну водяного тиску і зрештою знижує напір води в кранах. Розглянемо потенційні проблеми, які можуть виникати в антенно-фідерних системах.

Ключовими показниками якості, що дозволяють оцінити стан антенно-фідерної системи є зворотні втрати (RL). Як вже обговорювалося, в антенно-фідерній системі 3G/4G є безліч ВЧ-компонентів, кожен з яких вносить втрати або створює відображення. Якщо система належним чином не налаштована і не перевірена, відображення можуть не тільки скоротити зону покриття, але й призвести до завад.

Як приклад розглянемо ситуацію, коли неприйнятно високий рівень зворотних втрат у тракці передачі зменшує енергію, що передається у низхідному радіоканалі. За такої ситуації в ньому знижується відношення сигнал/шум, і мобільна станція «думає», що вона далеко від базової станції. В результаті вона підвищує потужність передачі, і у висхідному каналі виникає попередження про завади.

Оскільки потужність передачі МС дуже мала, поліпшення якості межі стільники може викликати труднощі. Щоб виправити цю ситуацію, для розширення зони покриття висхідного каналу і поліпшення якості сигналу використовуються підсилювачі вишки (ТМА) (рис. 1.4). Але й ТМА можуть викликати проблеми. Наприклад, якщо рівень сигналу висхідного каналу занадто високий, він може перевантажити ТМА і створити завади у висхідному каналі, що блокують трафік.

Синя крива на рис. 1.5 відповідає вимкненому ТМА, чорна - увімкненому. У разі посилення ТМА дорівнює 12 дБ.

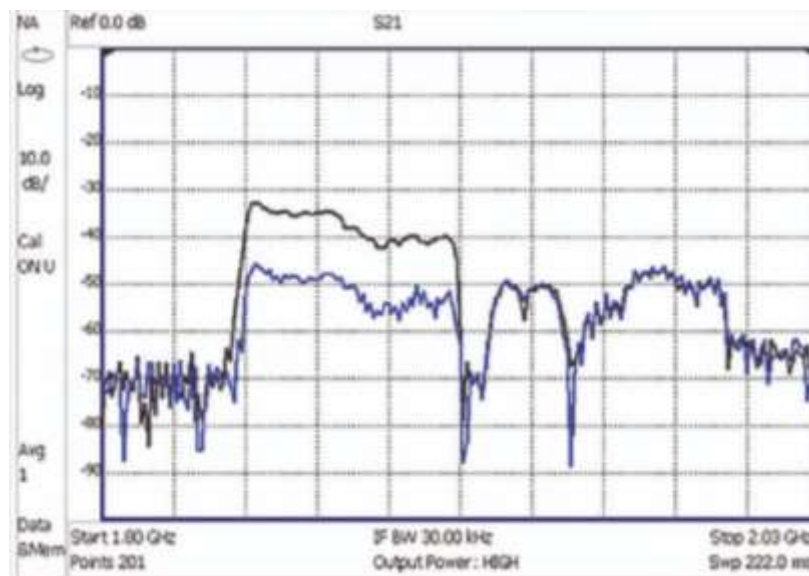


Рис.1.5. Вимірювання підсилення ТМА через радіоінтерфейс

Мережі 3G/4G докорінно змінюють структуру мобільного трафіку. Згідно з деякими статистичними дослідженнями, 80% інформаційних з'єднань встановлюються із приміщень. Отже, найважливішу роль провайдерів відіграє зона покриття і якість сигналу всередині них. Для забезпечення покриття використовуються розподілені антенні системи (DAS). Через більшу довжину

кабелів та наявність суматорів, дільників та відгалужувачів DAS всередині приміщення має зазвичай значно більші втрати, ніж стандартна зовнішня система. Ці втрати погіршують ставлення сигнал/шум, що змушує МС підвищувати потужність передачі і призводить до зростання рівня завад. Підвищення рівня завад погіршує якість послуги та знижує ємність системи. Тому системи усередині приміщень потрібно ретельно проектувати та тестувати (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Вимірювання в кабелі всередині приміщення

Отже, проблеми в антенно-фідерних системах можуть погіршувати зону покриття, викликати непотрібні перемикання між стільниками та знижувати ємність мережі.

5. Якість радіосигналу

У системах 2G, таких як GSM, встановлення голосового з'єднання з гарною якістю мови вимагає відношення несучої до завади (C/I) не менше 9 дБ. Мова не так схильна до впливу C/I, як дані, тому для встановлення інформаційного з'єднання з великою пропускнуою здатністю мережа повинна забезпечувати значення C/I не менше 12 дБ. Це означає, що швидкість передачі даних залежить від відношення сигнал/завада (SINR). Завади можна поділити на три категорії.

6. Внутрішні завади мережі

Внутрішні завади мережі складаються із завад від сусіднього та суміжного каналів. Завади такого типу можуть бути елементами мережі. Їх можна усунути шляхом оптимізації структури мережі, частотного плану, розподілу потужності та налаштування антенно-фідерної системи.

У системах WiMAX і LTE з тимчасовим поділом каналів (TDD) існує внутрішня перешкода, що отримала назву міжслотної. У системі TDD висхідний і низхідний канали використовують одну й ту саму частоту, розподілену по тимчасовим слотам. Через неправильний розподіл слотів або затримок слоти висхідного та низхідного каналів можуть частково перекриватися, збільшуючи SINR у потерпілому слоті та знижуючи швидкість передачі даних.

7. Інтермодуляційні завади (IMD)

Інтермодуляція є складним явищем. Коли два або кілька сигналів проходять через активний пристрій, можуть породжувати інтермодуляційні складові. Це часто називають активною інтермодуляцією. Коли два або кілька сигналів проходять через пасивний пристрій, такий як кабель, роз'єм або антена, вони можуть породжувати інтермодуляційні складові. Таке явище називається пасивною інтермодуляцією (PIM). Інтермодуляційні складові можуть проникати у вихідний канал мережі та блокувати вихідний трафік (рис. 1.7).

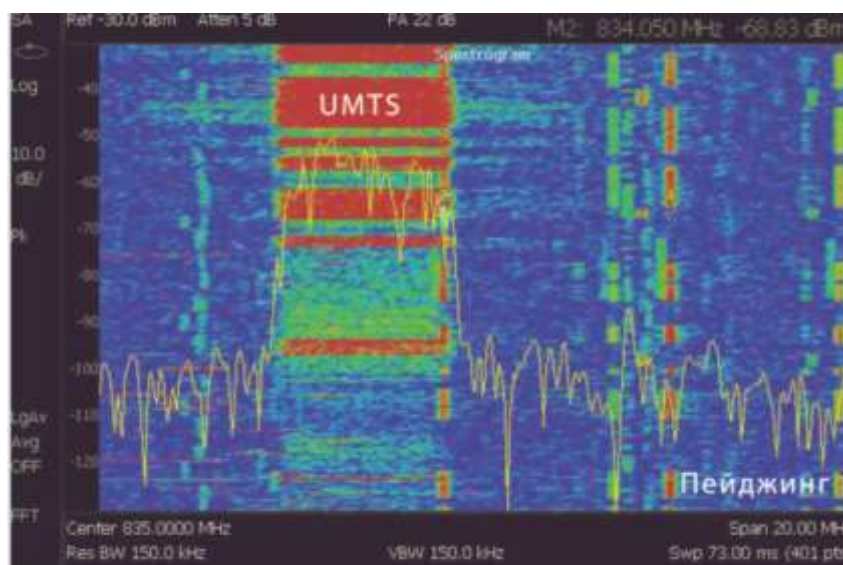


Рис. 1.7. Спектрограма інтермодуляційного пейджингового сигналу, що створює заваду у вихідному каналі UMTS

Зовнішні завади являють собою паразитні сигнали, створювані передавачами, що не належать до цієї мережі, наприклад, ретрансляторами або двонаправленими підсилювачами (BDA), які можуть збільшувати рівень власних шумів висхідного та низхідного каналів. Якщо цю проблему не вирішити, вона може стати джерелом завад.

Бездротові широкосмугові мережі 3G/4G повинні надавати високошвидкісний доступ до Інтернету та забезпечувати повну мобільність, пропонуючи платформу для спільної роботи голосового зв'язку, аудіо, відео, інформаційних та інтерактивних програм. Оскільки провайдери вкладають мільярди доларів у оновлення радіочастотних та транспортних мереж, надзвичайно важливо забезпечити високу якість «останньої милі». Зрештою, саме цим визначається загальне сприйняття послуги абонентом.

На якість з'єднання з абонентом впливають два взаємопов'язані компоненти. Один із них — це радіочастотне обладнання (антенно-фідерна система), а інший — якість радіосигналу. Проблеми в антенно-фідерних системах можуть погіршувати зону покриття, викликати небажані перемикання між стільниками та скорочувати ємність мережі. SINR радіосигналу може безпосередньо впливати на швидкість передачі даних. Таким чином, оптимізація бездротової мережі передачі даних зводиться в основному до усунення завад.

Існують також інші методи підвищення пропускної здатності для мобільних мереж. Дані методи були розглянуті в роботі [15]. Скажу лиш що одним із таких методів є оперативне керування мережею. Застосовується для зменшення навантажень, які різко знижують пропускну здатність мережі. При цьому застосовуються методи оперативного керування мережею, які передбачають динамічне управління потоками як користувальницької, так і керуючої інформації, аж до обмеження доступу користувачів в мережу.

Саме цей спосіб і буде розглянутий у роботі, оскільки поява нових алгоритмів керування обладнанням дозволяє реалізувати його без втрат якості.

Проведений вище аналіз показав, що для того, щоб мережа не перевантажувалася і не було порушення цілісності її роботи, необхідно вводити обмеження для певних видів трафіку.

Дослідження існуючих методів підвищення пропускної здатності бездротових ділянок мереж показало, що при розподілі ресурсів можуть бути використані адаптивні механізми виділення ресурсів, зокрема з використанням динамічного керування.

Дослідження принципів функціонування фрагментів мережі LTE та аналіз існуючих методів управління трафіком показав, що для них найбільш застосовний метод диференційованого обслуговування, заснований на виділенні різних сервісних класів. Через особливості побудови радіоінтерфейсу технологія LTE є найбільш придатною для застосування методів динамічного управління пропускною здатністю.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ПЕРЕДАЧЕЮ ТРАФІКУ НА ФРАГМЕНТІ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

В мобільних мережах існує кілька класів еластичного трафіку, тобто трафіку здатного пристосовуватися при передачі до змін затримки і пропускнуої здатності, продовжуючи задовольняти потреби споживачів. Основними характеристиками цього типу трафіку є: короткий час обслуговування та низька інтенсивність надходження заявок. Термін "еластичний трафік" передбачає, що швидкість його передачі може змінюватися в широких межах, при зміні навантаження на мережі. Однак, при виникненні позаштатних (критичних) ситуацій на території стільникового зв'язку виникає лавиноподібне збільшення частки широкосмтового трафіку від різних систем телеметрії, моніторингу та вендрінгу. При цих ситуаціях системи M2M можуть у разі збільшити навантаження на мережу, трафік від них стає пульсуючим і має потужні пікові викиди пакетів. У разі відсутності в мобільній мережі необхідних механізмів керування потоками різнорідного трафіку можуть виникнути значні втрати одного з його видів. Необхідне створення адаптивних механізмів управління передачею потоків еластичного трафіку, що дозволяють уникнути втрат при обмеженому об'ємі ресурсів фрагмента мобільної мережі.

Одним із механізмів забезпечення якості обслуговування в пакетних мережах є резервування ресурсів. Резервування проводиться для певного потоку перед початком передачі. Після резервування починається передача цього потоку із заданою якістю. Для забезпечення необхідної якості обслуговування резервування має бути доповнене механізмами управління трафіком, що включають управління доступом, планування черг та інші. Тому доцільним є розробка алгоритму доступу кількох потоків як еластичного трафіку, і трафіку реального часу на фрагменті мобільної мережі .

В даний час в мобільній мережі алгоритми управління доступом контролюють все нові заявки на надходження трафіку, визначаючи, чи може трафік, що надходить, привести до перевантаження мережі, або до погіршення рівня якості

обслуговування вже наявного в мережі трафіку. При цьому алгоритми організації та планування черг пакетів дозволяють обмежувати пропускну здатність на виході вузла, розподіляючи її між кількома потоками, залежно від вимог до пропускну здатності кожного потоку.

2.1. Формалізація процесу керування передачею потоків трафіку на фрагменті мережі LTE

2.1.1. Модель обслуговування двошвидкісного трафіку реального часу на фрагменті мобільної мережі

Розглянемо фрагмент мобільної мережі, описаний у п. 1.2 . Нехай максимальна загальна швидкість передачі в соті становить 40 Мбіт/с, позначимо її через C . Нагадаємо, що при передачі даних за допомогою кодека G.711 мовний канал має швидкість 64 кбіт/с (1 одиниця), а відеоканал високої чіткості має швидкість 2048 кбіт/с (32 одиниці). Таким чином, через одну соту можна передати або 625 каналів по одній одиниці, або 19 каналів по 32 одиниць.

При цьому питоме використання каналу при передачі мови становитиме:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}, b_1 = 1,$$

де λ_1 - Інтенсивність надходження заявок реального часу першого типу; μ_1 - Інтенсивність обслуговування заявок реального часу першого типу; b_1 - Швидкість передачі заявок першого типу; n_1 - Число заявок першого типу.

Питоме використання каналу під час передачі відео:

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}, b_2 = 1,$$

де λ_2 - інтенсивність надходження заявок другого типу; μ_2 - інтенсивність обслуговування заявок другого типу; b_2 - швидкість заявок другого типу; n_2 - кількість заявок другого типу.

Схема моделі доступу двошвидкісного трафіку представлена рис. 2.1.

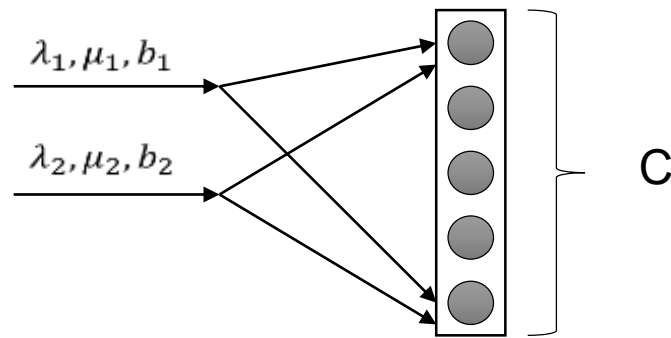


Рис.2.1. Схема моделі доступу двошвидкісного трафіку

Введемо (n_1, n_2) - всі можливі стани системи. Простір станів системи описується $X = \{(n_1, n_2) : n_1 \geq 0, n_2 \geq 0, n_1 b_1 + n_2 b_2 \leq C\}$.

Підпростори прийому та блокування заявок для високошвидкісного та низькошвидкісного трафіку мають наступний вигляд.

Для низькошвидкісних каналів:

–Підпростір прийому виглядає: $X_1 = \{(n_1, n_2) : n_1 b_1 + n_2 b_2 \leq C - b_1\}$.

–Стани відмови виникають при: $\bar{X} = X \setminus X_1 = \{(n_1, n_2) : n_1 b_1 + n_2 b_2 > C - b_1\}$.

Для високошвидкісних каналів:

–Підпростір прийому виглядає: $X_2 = \{(n_1, n_2) : n_1 b_1 + n_2 b_2 \leq C - b_2\}$.

–Стани відмови виникають при: $\bar{X} = X \setminus X_2 = \{(n_1, n_2) : n_1 b_1 + n_2 b_2 > C - b_2\}$.

Розподіл ймовірностей такої системи:

$$p(n_1, n_2) = \frac{p_1^{n_1}}{n_1!} \frac{p_2^{n_2}}{n_2!} \left[\sum_{n_1=0}^{\left\lfloor \frac{C}{b_1} \right\rfloor} \sum_{n_2=0}^{\left\lfloor \frac{C-n_1 b_1}{b_2} \right\rfloor} \frac{p_1^{n_1}}{n_1!} \frac{p_2^{n_2}}{n_2!} \right]^{-1};$$

Дослідження цієї системи показали, що заявки з більшими швидкостями зазнають і більших втрат, при цьому втрати низькошвидкісних заявок незначні, так як вони одночасно займають менший транспортний ресурс. Але при цьому зростають втрати високошвидкісних заявок, оскільки їм одразу потрібен великий ресурс лінії. Для усунення цього недоліку необхідно використовувати механізми

контролю за розподілом транспортного ресурсу між високошвидкісними та низькошвидкісними заявками.

Одним з таких механізмів є обмеження доступу із запровадженням гарантованої границі для низькошвидкісного трафіку, що дозволить знизити втрати високошвидкісних з'єднань. На існуючих мережах ця границя повинна визначатися на базі реальних спостережень за мережею.

2.1.2. Модель обслуговування двошвидкісного трафіку реального часу на фрагменті мобільної мережі із обмеженням для низькошвидкісних з'єднань

Розглянемо схему моделі доступу двошвидкісного трафіку з границею обслуговування низькошвидкісних з'єднань – N_1 (рис. 2.2)

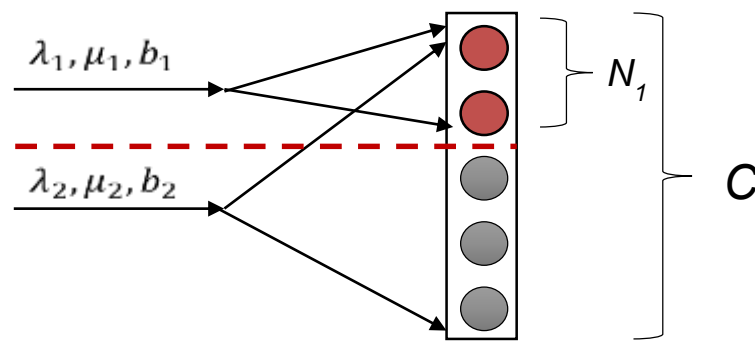


Рис. 2.2. Схема моделі доступу двошвидкісного трафіку з границею обслуговування низькошвидкісних з'єднань – N_1

Простір станів системи описується:

$$X = \{(n_1, n_2) : N_1 \geq n_1 \geq 0, n_2 \geq 0, n_1 b_1 + n_2 b_2 \leq C\}$$

Розподіл ймовірностей для даної системи виглядатиме так:

$$p(n_1, n_2) = \frac{p_1^{n_1}}{n_1!} \frac{p_2^{n_2}}{n_2!} \left[\sum_{n_1=0}^{\lfloor \frac{c}{N_1} \rfloor} \sum_{n_2=0}^{\lfloor \frac{c-n_1 N_1}{b_2} \rfloor} \frac{p_1^{n_1}}{n_1!} \frac{p_2^{n_2}}{n_2!} \right]^{-1}$$

Дана модель може бути розширена для більшої кількості швидкостей. Але для введення їх в модель необхідні додаткові дослідження параметрів.

Крім того, ведення границь дозволить уникнути неконтрольованого використання ресурсів мережі низькошвидкісними заявками. Для дослідження запропонованого алгоритму адаптивного управління використовуємо метод імітаційного моделювання. Наведемо опис імітаційної моделі цього процесу.

2.2. Імітаційна модель мобільної мережі при передачі заявок реального часу

Для дослідження фрагменту стільника мобільної мережі побудуємо імітаційну модель, яка дозволить використовувати різні типи розподілів потоку вхідних заявок, і різні розподіли часу їх обслуговування. Особливістю даної імітаційної моделі є те, що дозволяє обмежити тривалість заявки.

Імітаційна модель реального фрагмента структури мобільної мережі, що обслуговується одним модулем управління мобільністю MME/UPF представлена в першому розділі, рисунок 1.2. Найгірший випадок за кількістю відмов виникає, коли співвідношення швидкостей передачі високошвидкісних і низькошвидкісних заявок становить 32:1.

На рис. 2.3 подано аналіз процесу надходження подій. Показано, що можливо, як надходження заявок будь-якого типу, так і примусове завершення обслуговування при перевищенні часу обслуговування заявки (наприклад, абонент не може розмовляти більше години). При цьому будь-якої миті може статися подія закінчення будь-якої заявки.



Рис. 2.3. Аналіз подій, що виникають в імітаційній моделі

Імітаційна модель містить три класи (рис. 2.4.) компонентів: заявку, стільник та імітатор.

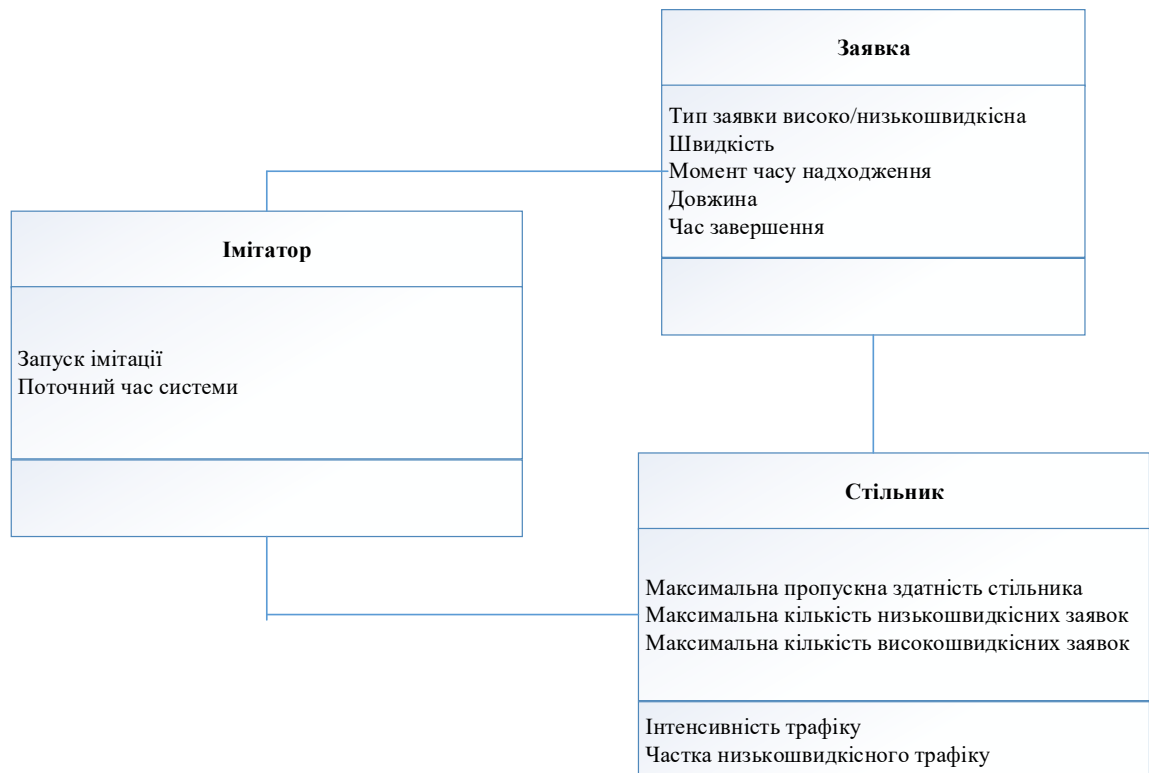


Рис. 2.4. Класи компонентів імітаційної моделі

Перший клас - це опис заявки, для неї задається: високошвидкісна і низькошвидкісна, необхідна швидкість передачі, момент надходження, середня довжина заявки і момент закінчення.

Другий клас - це опис параметрів стільника, при цьому задаються як фіксовані параметри, так і змінювані. До фіксованих відносяться: пропускна здатність стільника, загальний обсяг заявок, що надійшли, а до змінених - частка низькошвидкісного трафіку, при введенні порогу на число низькошвидкісних заявок.

У третьому класі описується імітатор, який здійснює запуск моделі та зберігає час та поточні стани системи. Модель враховує співвідношення середньої тривалості з'єднань кожної швидкості.

Алгоритм роботи програми імітаційного моделювання представлений на рис. 2.5.

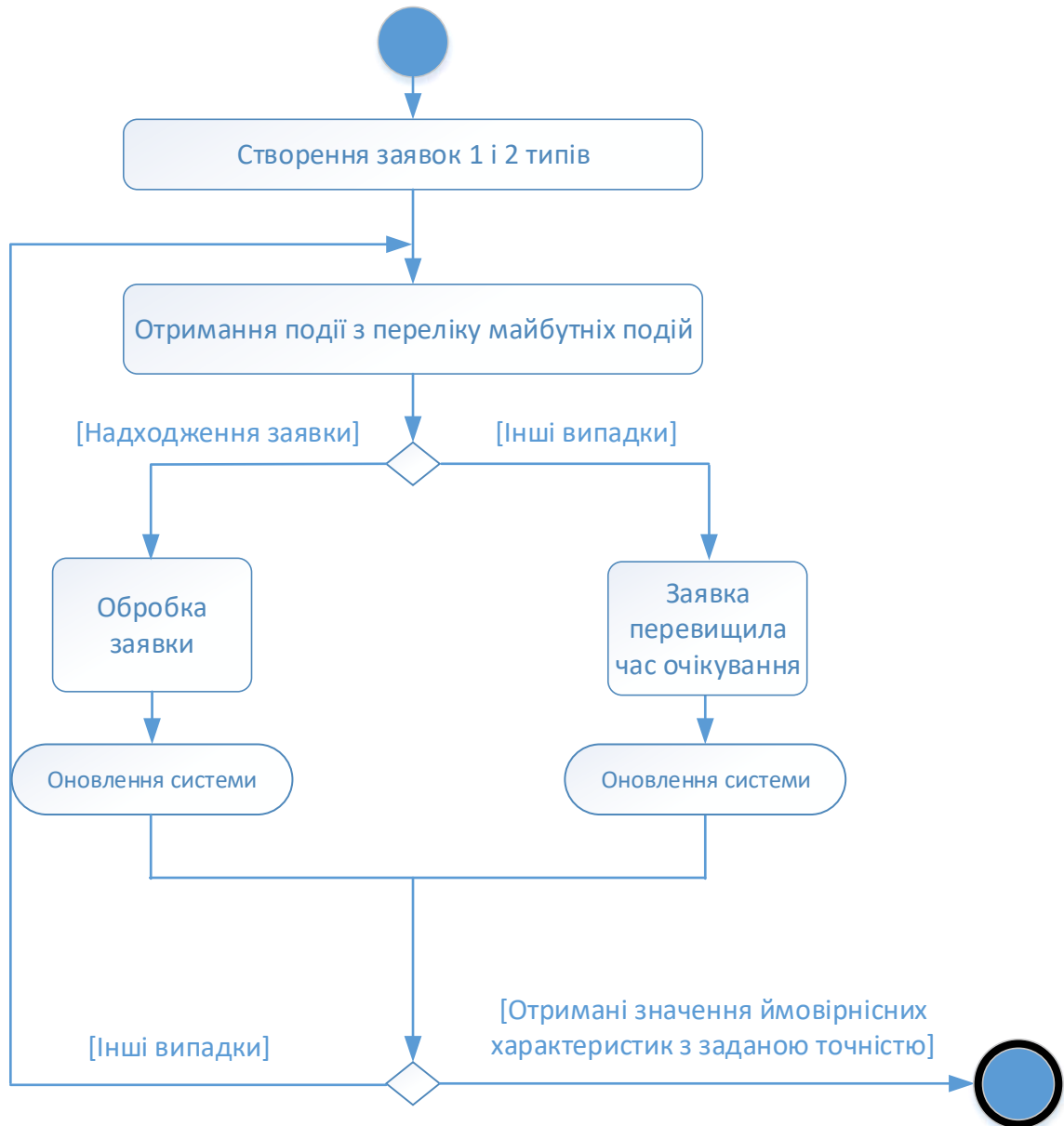


Рис. 2.5. Алгоритм роботи програми імітаційного моделювання

На рисунку 2.6 наведений алгоритм роботи системи під час отримання нової заявки.

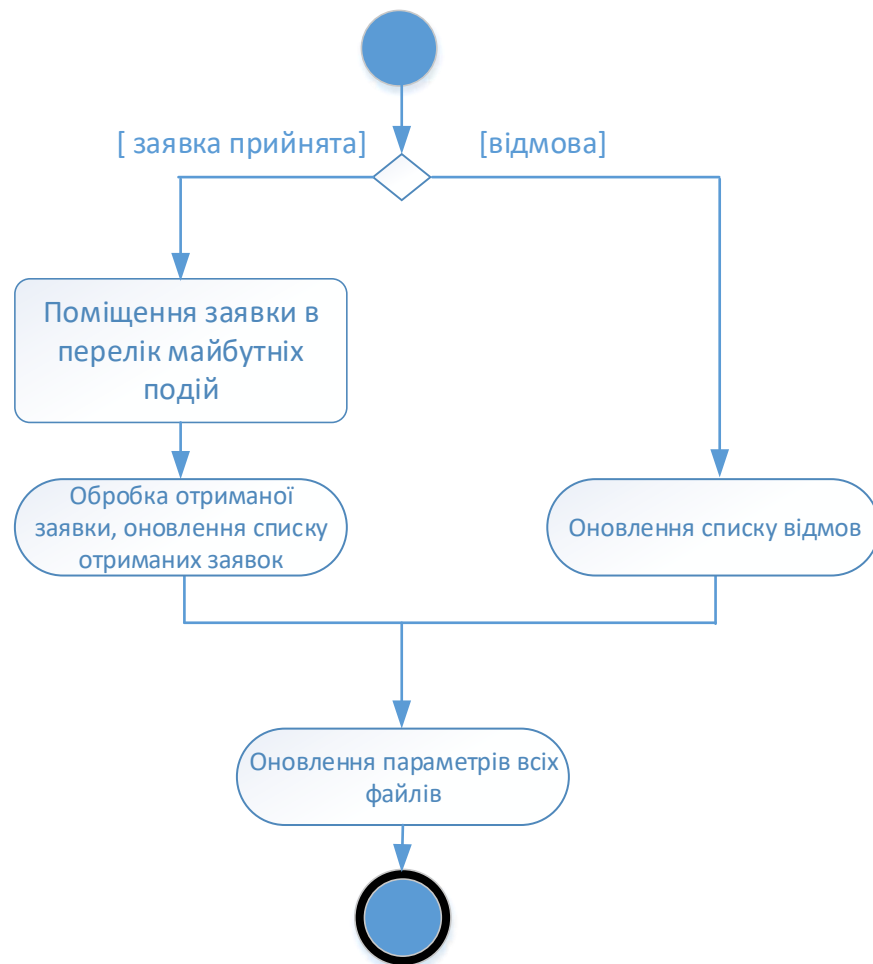


Рис. 2.6. Алгоритм роботи системи при надходженні нової заявки

Спершу генеруються одночасно дві заявки: високошвидкісна і низькошвидкісна, вони заносяться до списку майбутніх подій. Їхні поточні швидкості рівні відповідно максимальної та мінімальної. Потім розгортається цикл, у якому вибирається подія зі списку, що має найменший час і відбувається визначення типу цієї події: це може бути як надходження заявки, так і завершення обслуговування. Якщо сталася подія надходження заявки (рис . 2.6), то відбувається її обробка та створення ще однієї заявки такого ж типу. Якщо це подія завершення обслуговування, відбувається звільнення ресурсів. Основною умовою для відмови передачі заявки при її обробці є нестача ресурсів у системі в даний час. Якщо ресурси для обслуговуваної заявки з заданою швидкістю є, то вона приймається на передачу, при цьому система оновлює лічильник заявок, що надійшли.

При дослідженнях частка низькошвидкісних з'єднань змінювалася від 10 до

90%. Також проводилося дослідження зміни питомого навантаження на соту, в межах від 0,75 до 0,95 з кроком 0,05. Втрати низькошвидкісних заявок виявились незначні.

2.3. Імітаційна модель мобільної мережі при передачі заявок двох потоків еластичного трафіку

Розглянемо тепер імітаційну модель під час передачі двох видів еластичного трафіку. В даному випадку класи компонентів імітаційної моделі є: файл, сота мережі LTE та імітатор.



Рис. 2.7. Класи компонентів імітаційної моделі

Імітатор (рис. 2.7) зберігає в собі поточний час системи, який у початковий момент часу приймається рівним нулю, і здійснює запуски передачі файлів.

Файл має фіксовані та змінні параметри. Фіксованими параметрами є тип файлу (першого або другого роду), максимально можлива швидкість передачі, момент часу надходження файлу в систему і його довжина. Змінними параметрами є: поточна швидкість передачі, залишкова довжина файлу, що передається, і

планований час закінчення передачі файлу при поточній швидкості системи.

Фрагмент мережі LTE також описується фіксованими та змінними параметрами. До фіксованих параметрів відносяться: пікова пропускна здатність, а також максимальна кількість файлів обох типів, які можуть передаватись у системі. До змінних параметрів відносяться: кількість файлів, що передаються першого і другого роду і коефіцієнт зниження швидкості.

У початковий момент часу (рис. 2.8) генеруються одночасно два файли: першого і другого роду і заносяться в масив. Їхня поточна швидкість спочатку приймається максимально можливою. Потім розгортається цикл, у якому вибирається подія з масиву, що має найменший час, відбувається визначення типу цієї події. Це може бути як надходження файлу даних, так і завершення обслуговування файлу. Якщо це вхідна подія (див. рисунок 2.9), то відбувається обробка файлу, що надійшов, і створення ще одного файлу такого ж типу. Якщо це подія завершення обслуговування файлу, то відбувається оновлення системи, яке представлено на рис.2.10.

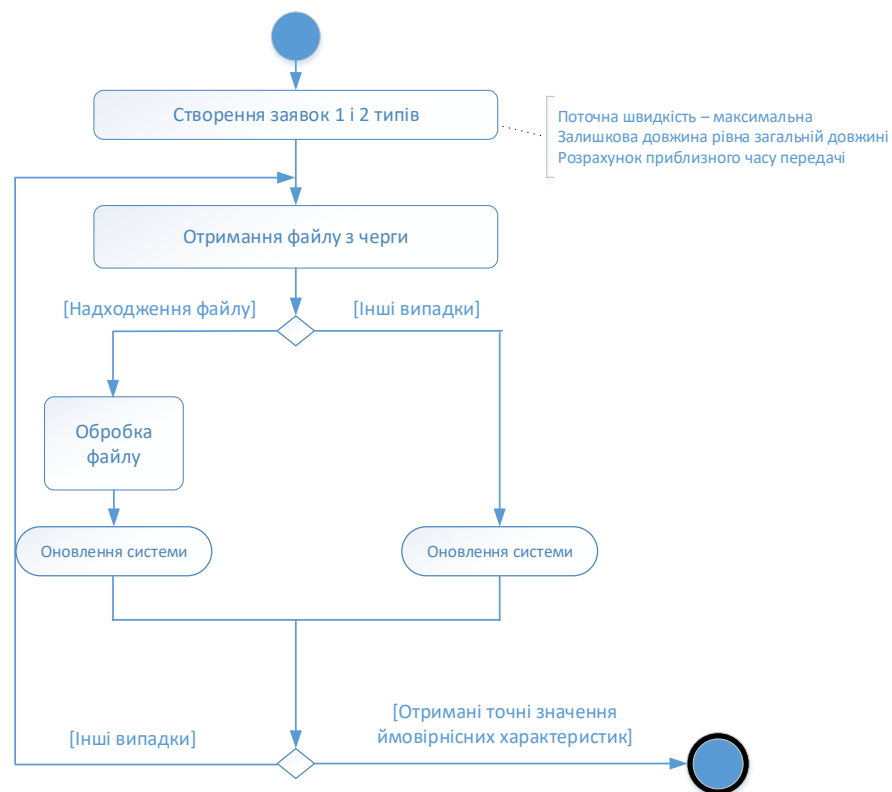


Рис.2.8. Алгоритм імітаційної моделі двох потоків еластичного трафіку

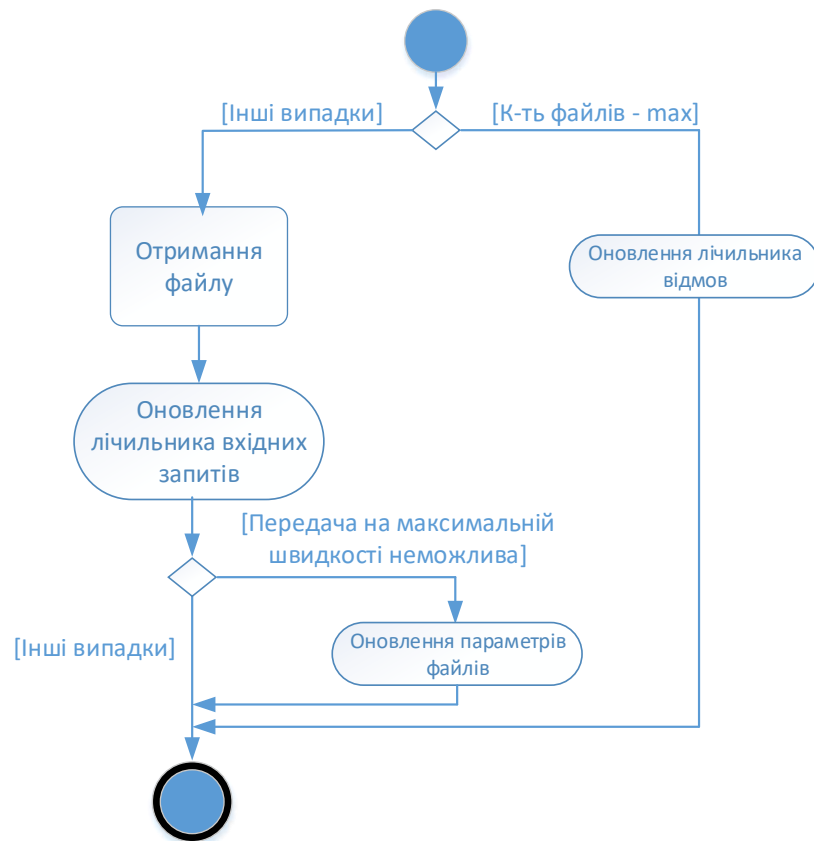


Рис.2.9 Процес обробки файлу

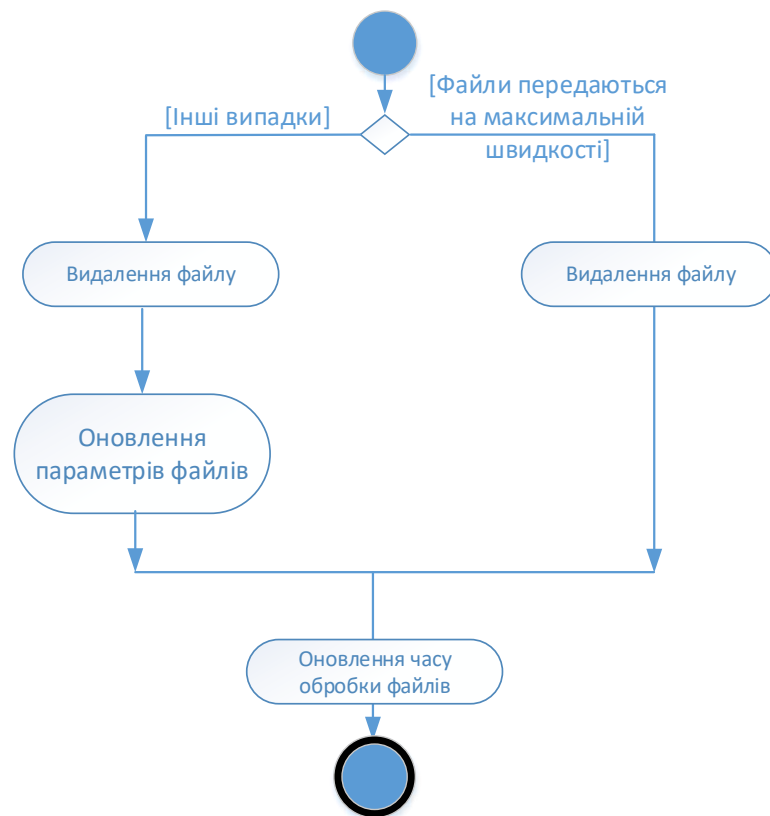


Рис.2.10 Процес завершення обслуговування файлу

Основною умовою для відмови передачі файлу при його обробці (рис. 2.9) є перевищення максимально можливої кількості файлів у системі в поточний момент часу. Якщо число файлів не досягло максимального значення, то новий файл будь-якого типу приймається на обробку, при цьому система оновлює лічильник файлів, що надійшли. Після цього проводиться перевірка необхідності стиснення швидкості для всіх файлів, що передаються на даний момент. Якщо стиснення необхідне, відбувається перерахунок коефіцієнта стиснення та оновлення всіх змінних параметрів системи, інакше продовжується передача без стиснення. При стисканні відбувається перерахунок залишкової довжини файлу та прогнозованого часу передачі.

В реальній мережі трафік реального часу та еластичний передаються спільно, тому необхідно розробити модель для спільного обслуговування різнорідного трафіку.

Весь процес функціонування фрагмента мережі LTE при обслуговуванні n класів різнорідного трафіку може бути зведений до взаємодії пари користувачів різних класів

Нова заявка на обслуговування може бути прийнята тільки, якщо при цьому всі раніше заявки вже прийняті і можуть бути оброблені з допустимою швидкістю передачі.

Одним із методів, що дозволяють зменшити втрати будь-якого трафіку, є введення обмеженого очікування. Обмеження може при цьому накладатися як на максимальну довжину черги, так і на максимально допустимий час очікування. Зменшення втрат одного типу може бути досягнуто тільки за рахунок погіршення якості обслуговування іншого типу, отже зменшити втрати трафіку з високою швидкістю передачі можна тільки збільшивши втрати трафіку з низькою швидкістю передачі.

Пропонується наступний алгоритм спільного обслуговування трафіку: при надходженні нової заявки здійснюється перевірка: чи є ресурс для передачі вимоги і всіх раніше прийнятих з допустимою швидкістю. Якщо такий ресурс є, нова заявка приймається на обслуговування і швидкість раніше прийнятих на обслуговування

заявок еластичного трафіку зменшується. Якщо наявний ресурс не достатній для обслуговування нової заявки з необхідною постійною швидкістю передачі – відбувається відмова у її передачі, а якщо час затримки не є критичним – заявка ставиться в чергу та чекає, доки з'явиться ресурс для його обслуговування.

Зі збільшенням допустимої довжини черги чи ширини смуги пропускання кількість можливих станів системи різко зростає. За постійної величини часу очікування процес вже не буде марківським. І тут для дослідження запропонованого алгоритму управління можна використовувати метод імітаційного моделювання.

Висновки до другого розділу:

1. Досліджено залежності між параметрами високошвидкісних та низькошвидкісних повідомлень трафіку реального часу.

2. Показано, що при локальному зменшенні ймовірності втрат низькошвидкісних заявок зростають втрати високошвидкісних заявок, оскільки знижується доступ для заявок, що потребують більшого ресурсу фрагмента мережі LTE .

3. Дослідження підтвердили, що заявки з більшими швидкостями зазнають і більших втрат.

4. Запропоновано введення гарантованої границі швидкості еластичного трафіку, що дозволить знизити втрати високошвидкісних з'єднань..

5. Під час проведення досліджень показано, для розробки рекомендацій для існуючих мереж необхідне додаткове дослідження їх трафіку. Для цього розроблена імітаційна модель, яка дозволяє в широких межах змінювати частку високошвидкісних та низькошвидкісних з'єднань.

РОЗДІЛ 3

АПРОБАЦІЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕДАЧІ ТРАФІКУ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

3.1. Моделювання радіоканалу передачі між UE та eNodeB

Однією з переваг імітаційного моделювання є його гнучкість, залежно від поставлених цілей та наявної статистики. В даний час розроблені симулятори LTE - Sim і NS-3, які дозволяють моделювати поряд з мережами LTE та мережі Wi-Fi, що важливо у зв'язку з розвитком гетерогенних технологій [7].

При моделюванні фрагмента мережі LTE використовуються такі вхідні параметри: ширина частотного каналу, алгоритм керування радіоресурсами, топологія розміщення базової станції та її характеристики, параметри мобільності абонентів, параметри трафіку в мережі, характеристики абонентських терміналів, параметри множинного доступу, алгоритми керування радіоресурсами, профілі обслуговування абонентів, технології транспортної частини мережі.

Розглянемо докладно процес моделювання радіоканалу передачі між власним обладнанням UE і базовою станцією eNodeB

Проведено тестування та оцінка продуктивності каналів радіопередачі ресурсних блоків мережі LTE за допомогою пакетів MATLAB та Simulink. Як початкові дані прийнято: тип каналу передачі – R.12; режим передачі в обох напрямках - TDD; кількість кадрів, що передаються - 8. Після вибору каналу передачі RMC всі інші параметри налаштовуються відповідно до специфікації 3 GPP. Усі необхідні налаштування перед генерацією сигналу наведено на інтерфейсі, представленою рис. 3.1.

Generate preset PDSCH reference measurement channel (RMC) waveforms. These are specified in TS 36.101 Annex A.3 for UE performance testing. Use the command line interface for full parameter control.

Reference channel	R.12 (TxDiver...)
Duplex mode	TDD
Transmission scheme	TxDiversity
Cell identity	0
RNTI	1
RV sequence	[0 1 2 3]
Rho (dB)	0
OCNG	Off
Number of subframes	8
Number of codewords	1
PMI set	[1]
Number of HARQ processes	7
Windowing (samples)	0
Waveform output variable	rmcwaveform
Resource grid output variable	rmcgrid
RMC configuration output variable	rmcconfig

RMC parameter summary	
Transmission scheme	TxDiversity
Number of downlink resource blocks	6
Number of allocated resource blocks	6
Cell-specific reference signal ports	4
Modulation scheme	QPSK
Transmission layers	4
Total info bits per frame per codeword	1024 bits
Note: * indicates value can change per subframe	

Codeword input data

Transport info bit stream (codeword 1) User defined [1; 0; 0; 1]

Transport info bit stream (codeword 2) User defined [1; 0; 0; 1]

Generate waveform Help

Рис.3.1. Налаштування генерації сигналу

Далі згенеровано вихідний радіосигнал і побудований графік (рис. 3.2) На графіці представлені всі вісім кадрів комплексного сигналу контрольно-вимірювального каналу RMC R.12.

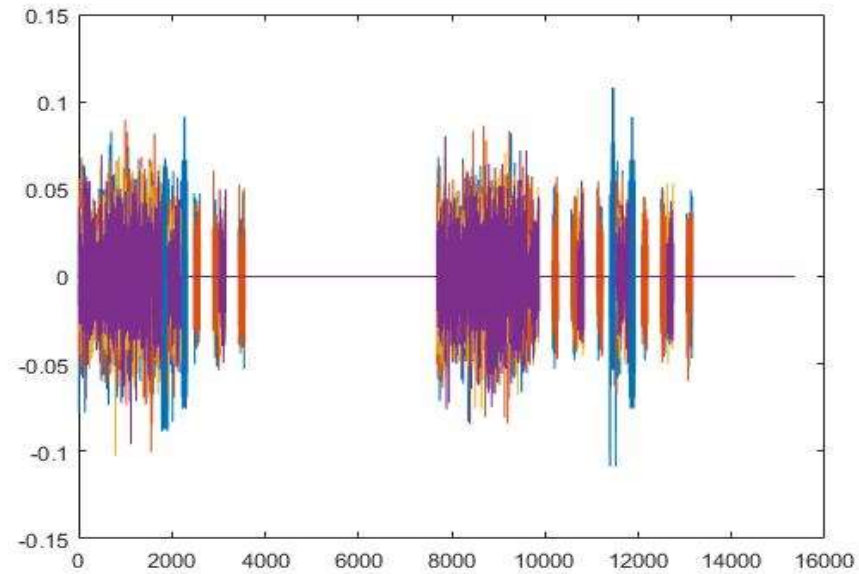


Рис. 3.2. Графік згенерованого сигналу

Після чого згенеруємо сигнал в MATLAB. На рис. 3.3 показано, що 6 ресурсних блоків контрольно-вимірювального каналу займають смугу шириною 1 МГц.

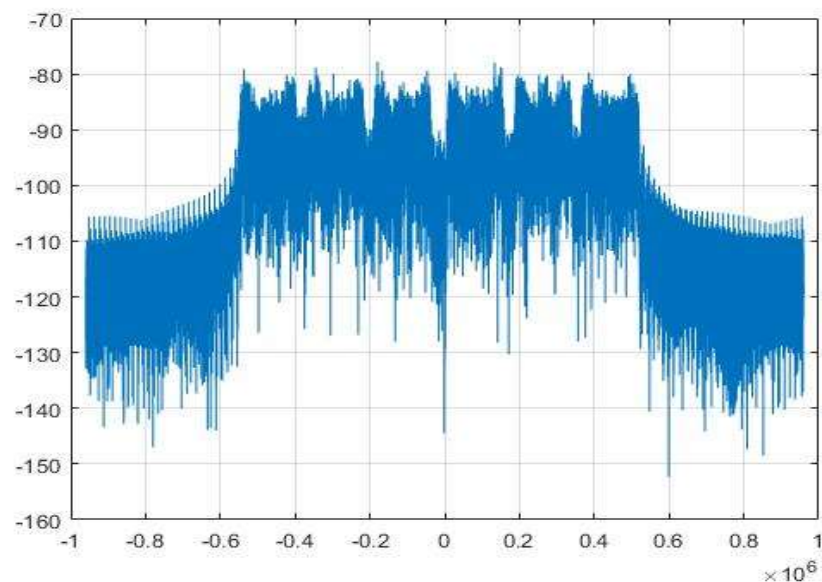


Рис. 3.3. Спектр сигналу

Проводиться формування частотно-часової ресурсної сітки і при виведенні функції генерації OFDM символів «lteOFDMModulate» на екран ми отримуємо сигнал, готовий для передачі в ефір

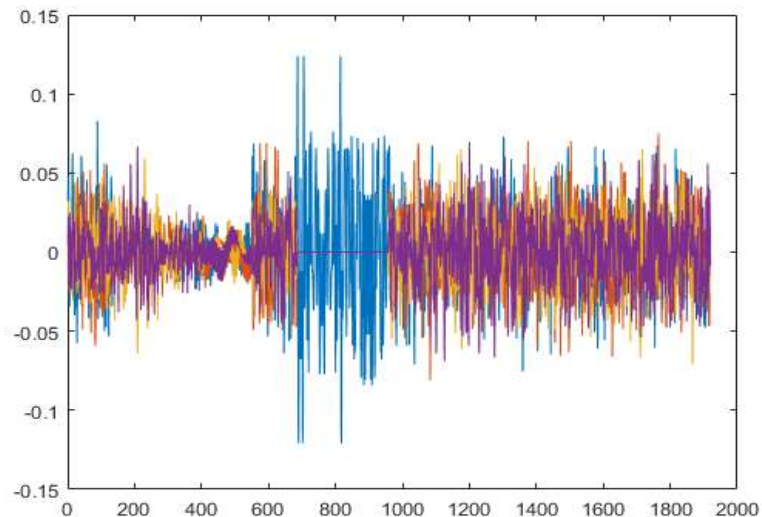


Рис. 3.4. Готовий сигнал для передачі в ефір

Було визначено мінімальну пропускну здатність для вихідного каналу при заданому співвідношенні сигнал/шум. При генерації сигналу, шум каналу додається до отриманого сигналу, який потім демодулюється.

Оцінка пропускну здатності каналу виконується для визначення пропускну здатності між кожною передачею. Для тестування пропускну здатності використовується один кадр.

Потім отримаємо пропускну здатність каналу яка наведена на малюнках у відсотках від загального обсягу фрагмента мережі та Мбіт/с.

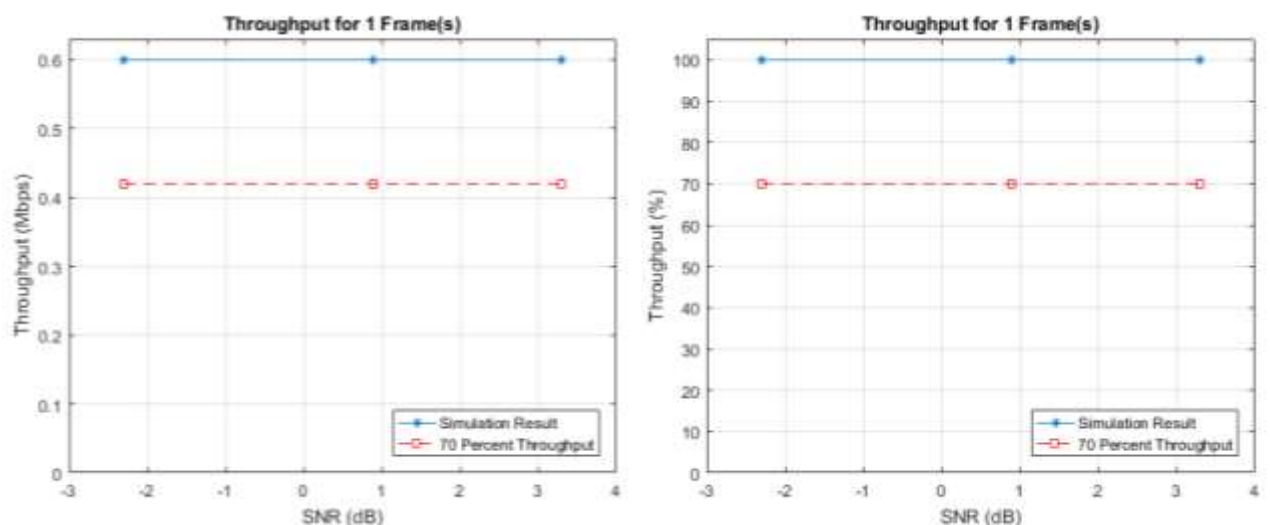


Рис. 3.5. Графік пропускну здатності каналу в Мбіт/с і у відсотках

На рис. 3.6 зображено спектр досліджуваного сигналу. Жовтим кольором показаний сигнал у вхідному каналі передачі сигналу, синім – у вихідному каналі.

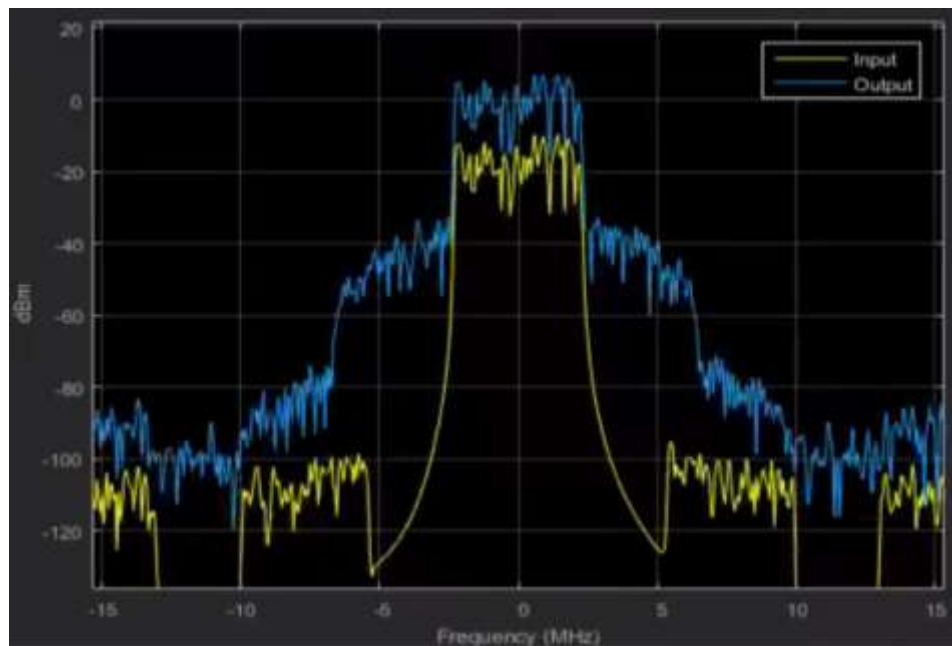


Рис. 3.6. Спектри сигналів вихідного та вхідного каналів

Таким чином отримані початкові дані для розробки моделі обслуговування неоднорідного трафіку на фрагменті мобільної мережі.

3.2. Модель обслуговування неоднорідного трафіку на фрагменті мобільної мережі

Через C позначимо швидкість передачі інформації, що забезпечується технічними можливостями окремого фрагмента мобільної мережі. Процес надходження заявок представляє один потік трафіку реального часу та один потік передачі еластичного трафіку даних.

Заявки на передачу трафіку реального часу надходять за з інтенсивністю λ_r . Для обслуговування однієї заявки потрібно виділити з наявної пропускної здатності стільника ресурс у розмірі c_r біт/с. Час обслуговування заявки реального часу t_r . Також прийmemo, що процес надходження заявок на передачу даних надходить з інтенсивністю λ_d .



Рис.3.7. Схема функціонування моделі фрагмента мобільної мережі

Швидкість передачі даних змінюється в залежності від завантаження стільника. При малому завантаженні фрагмента мобільної мережі дані передаються з максимально можливою швидкістю c_2 , яка підтримується технічними можливостями системи мобільних мереж, при великому завантаженні мережі - зі швидкістю c_1 . Зазначимо, що при цьому ресурс, що використовується, а, отже, і швидкість передачі трафіку сервісів реального часу не змінюються.

Як приклад розподілу ресурсу передачі інформації розглянуто процес надходження та обслуговування заявок у ситуації, коли загальна швидкість дорівнює $C=10$ Мбіт/с, швидкість обслуговування трафіку реального часу становить $c_r = 1$ Мбіт/с, швидкості передачі файлів даних $c_1 = 1$ Мбіт/с, $c_2 = 2$ Мбіт/с.

Таким чином, в момент часу t_0 зайнято 6 Мбіт/с. Припустимо, в даний момент t_1 надходить ще одна заявка на передачу трафіку реального часу. Вона приймається до обслуговування. У цьому стані швидкість буде 7 Мбіт/с. Потім в момент часу t_2 надходить заявка на передачу ще одного файлу. Вона приймається до обслуговування з максимальною швидкістю $c_2 = 2$ Мбіт/с. У цьому стані загальна

швидкість становитиме 9 Мбіт/с. Якщо наразі в момент t_3 надходить ще одна заявка на передачу файлу, вона буде прийнята до обслуговування. При цьому швидкість передачі всіх прийнятих раніше файлів, включаючи заявку, що надійшла, визначиться як: 1.75 Мбіт/с.

Якщо тепер на момент t_4 надійде заявка на передачу трафіку реального часу, її буде прийнято до обслуговування. При цьому швидкість передачі всіх файлів даних, що передаються, зменшиться до величини 1.5 Мбіт/с. Заявка на передачу трафіку реального часу, що надходить у наступний момент, t_5 також прийметься до обслуговування. При цьому швидкість передачі всіх файлів, що передаються, зменшиться до 1,25 Мбіт/с. Заявка на передачу файлу, що надійшла в момент , також приймається на обслуговування t_6 . У цьому випадку швидкість передачі всіх файлів даних, визначиться як: 1 Мбіт/с. Тобто дані почнуть передаватись із мінімально можливою швидкістю $c_1 = 1$ Мбіт/с. Якщо в системі не відбудеться закінчення обслуговування будь-якої заявки, то наступна заявка, що надійшла, будь-якого типу отримає відмову в обслуговуванні. Викладена у прикладі процедура розподілу ресурсу показано на рис. 3.8.

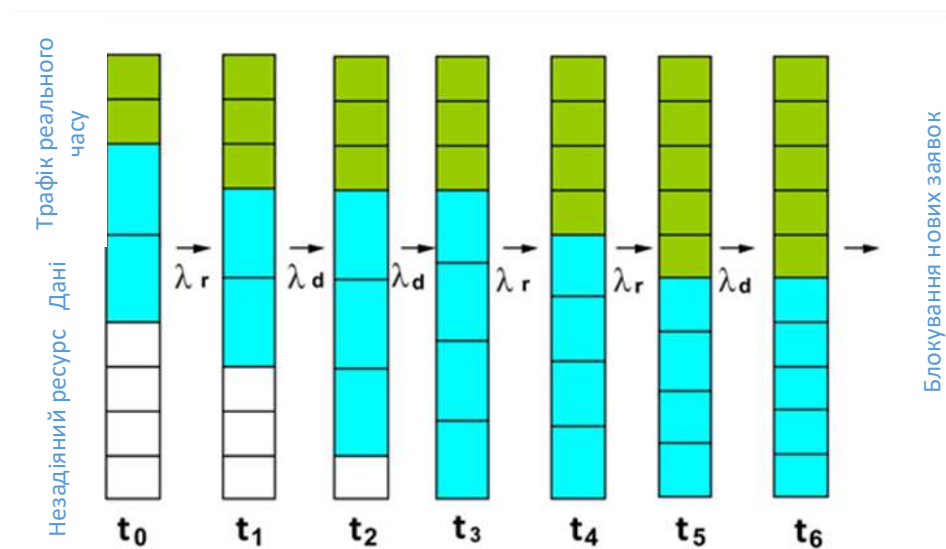


Рис. 3.8. Приклад розподілу ресурсів для моделі стільникової мережі

Таким чином, система продовжить давати відмови новим заявкам, поки не закінчиться передача хоча б однієї заявки будь-якого типу.

3.3. Аналіз основних імовірнісних характеристик при передачі трафіку в мобільних мережах

На підставі моделі, побудованої в другому розділі, виконаємо аналіз основних імовірнісних характеристик моделі передачі трафіку M2M в умовах його збільшення. Розглянемо спочатку моделювання для процесу, що базується на наступному прикладі. Приймемо, що з виникненні позаштатної ситуації заявки на передачу трафіку даних надходять у сто разів частіше, ніж заявки на передачу трафіку реального часу.

На рис. 3.9 показані результати розрахунку втрат заявок реального часу λ_r та заявок на передачу даних λ_d при значному збільшенні ρ . Очевидно, що зі зростанням завантаження одиниці ресурсу втрати заявок зростають. Темпи зростання частки втрачених заявок стають особливо значними, коли завантаження системи наближається до одиниці, а потім переходить в зону повного перевантаження. Частка втрачених заявок на передачу трафіку реального часу зростає швидше за частку втрачених заявок на передачу файлів.

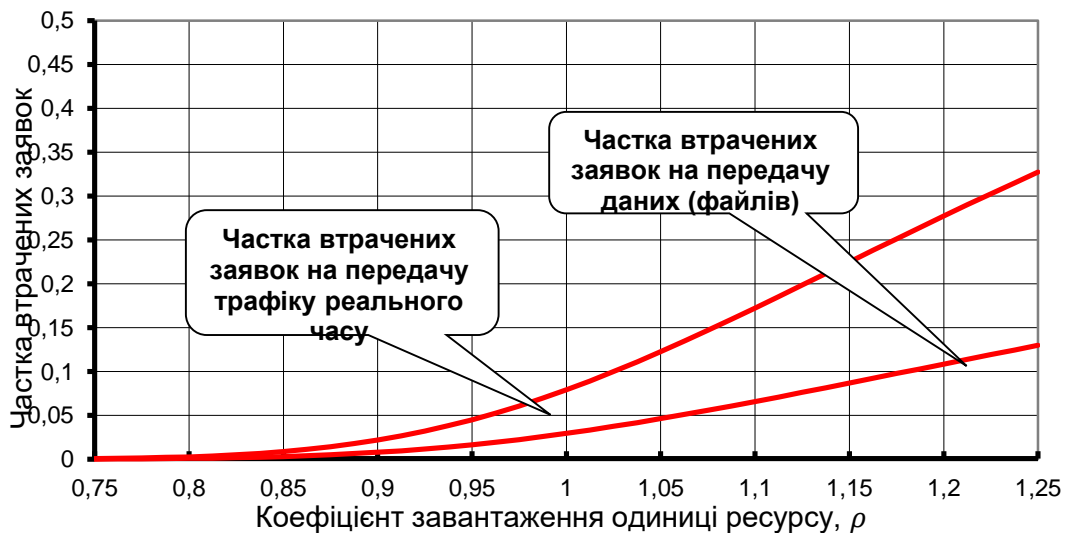


Рис. 3.9. Результати розрахунку втрат заявок зі зростанням мінімального потенційного завантаження стільника мобільної мережі

На рис. 3.10 представлені результати розрахунку середнього числа m_r та

середнього m_d , що перебувають у соті на обслуговуванні при різкому збільшенні ρ .

Дослідження показали, що зі зростанням ρ середня кількість прийнятих обслуговування заявок на передачу трафіку реального часу спочатку зростає, а потім починає зменшуватися. Це відбувається через те, що мінімальний ресурс передачі, необхідний обслуговування однієї заявки на передачу файлів зазвичай менше, ніж ресурс необхідний передачі трафіку реального часу. Тому заявки на передачу файлів даних витісняють із обслуговування заявки на передачу трафіку сервісів реального часу. Цей ефект також відомий під час обслуговування мультисервісного трафіку реального часу

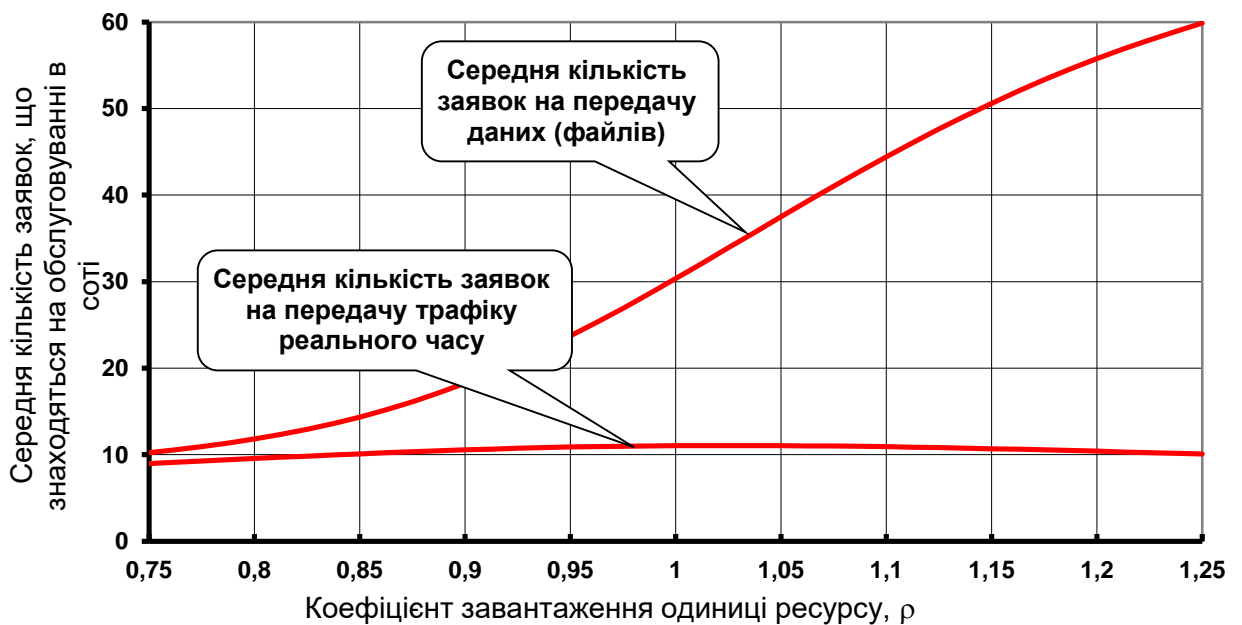


Рис.3.10. Середня кількість заявок, що знаходяться в стільнику на обслуговуванні при збільшенні завантаження стільника

На рис. 3.11 показані результати розрахунку середніх значень розподілу швидкостей усередині стільника використаних відповідно до передачі трафіку сервісів реального часу та трафіку даних.

Зі зростанням завантаження одиниці ресурсу ρ продуктивність стільника мережі спочатку зростає, а потім починає зменшуватися. Це відбувається через те, що мінімальний ресурс, необхідний обслуговування однієї заявки на передачу файлів менше ресурсу, необхідного для передачі трафіку реального часу. Тому

заявки на передачу файлів витісняють із обслуговування заявки на передачу трафіку сервісів реального часу. На рисунку також показано сумарне використання ресурсу мобільного стільника. Зі зростанням завантаження одиниці ресурсу ρ воно прямує до максимальної пропускної здатності стільника мобільної мережі $C = 100$ Мбіт/с

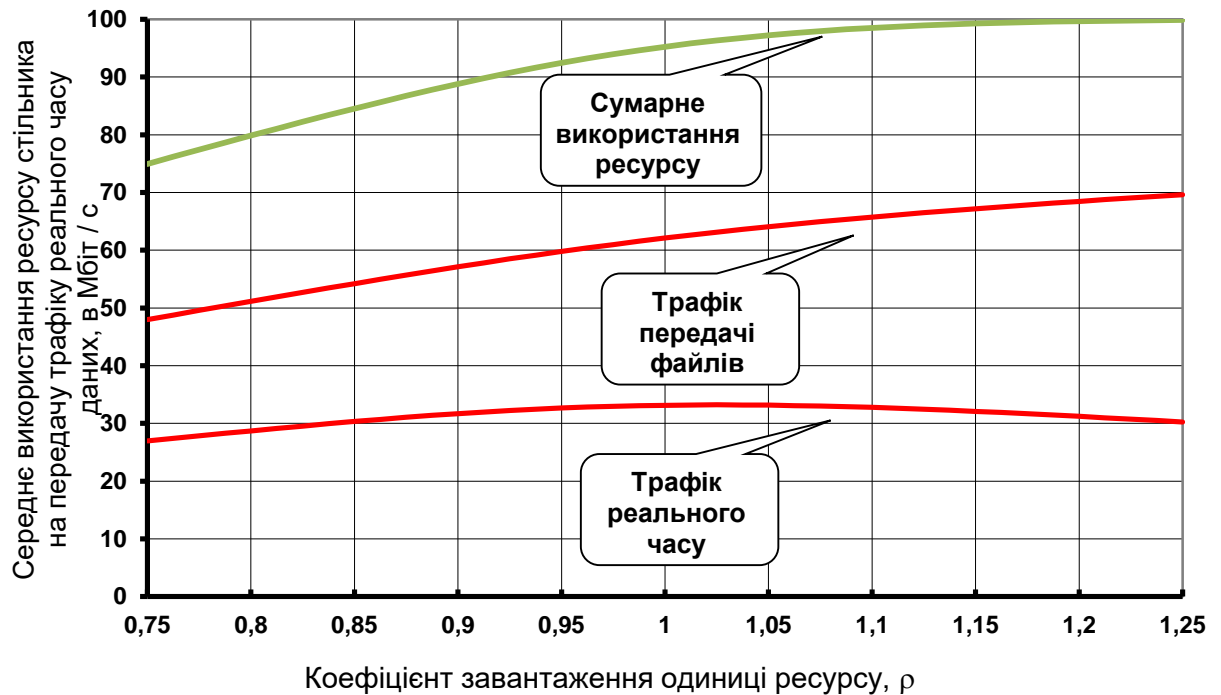


Рис. 3.11. Середнє використання ресурсу стільника при передачі трафіку реального часу та даних при збільшенні мінімального потенційного завантаження стільника

На рис. 3.12 показано результати розрахунку швидкості передачі трафіку даних s_d . Можна побачити, що зі зростанням одиниці завантаження ресурсу ρ , тому трафік даних поступово починає обслуговуватися з мінімально допустимою швидкістю $s_1 = 1$ Мбіт/с.



Рис. 3.12. Середнє використання ресурсу стільника на передачу файлу при збільшенні мінімального потенційного завантаження ресурсу передачі стільника

На рис. 3.13 показані результати розрахунку середнього часу передачі файлу T_d зі збільшенням одиниці завантаження ресурсу ρ .

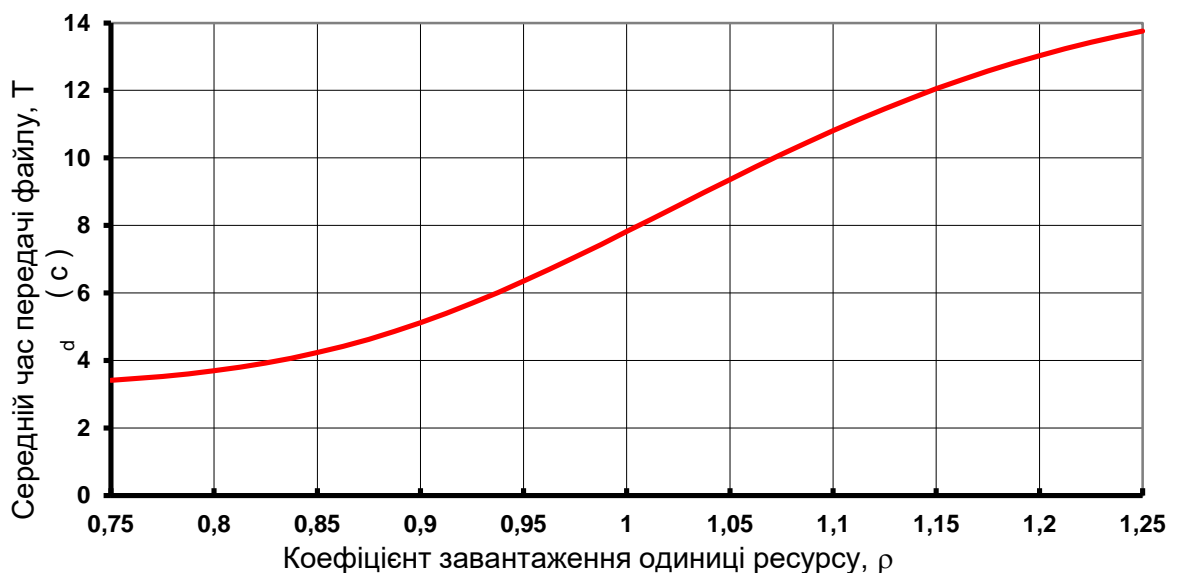


Рис. 3.13. Середній час передачі файлу при збільшенні мінімального потенційного завантаження стільника мобільної мережі

При цьому середній час передачі файлу збільшується, починаючи з величини

3,2 с, коли на передачу файлу використовується максимально можливий ресурс стільника, і прямує до 16 с, відповідно до мінімальної величини ресурсу, що виділяється на передачу файлу.

Часто необхідно при визначенні передавального ресурсу стільника визначити, величину середнього часу доставки файлу достатнього для обслуговування потоків трафіку, що надходять, із заданою якістю. Результати розв'язання задачі представлені на рис. 3.14.

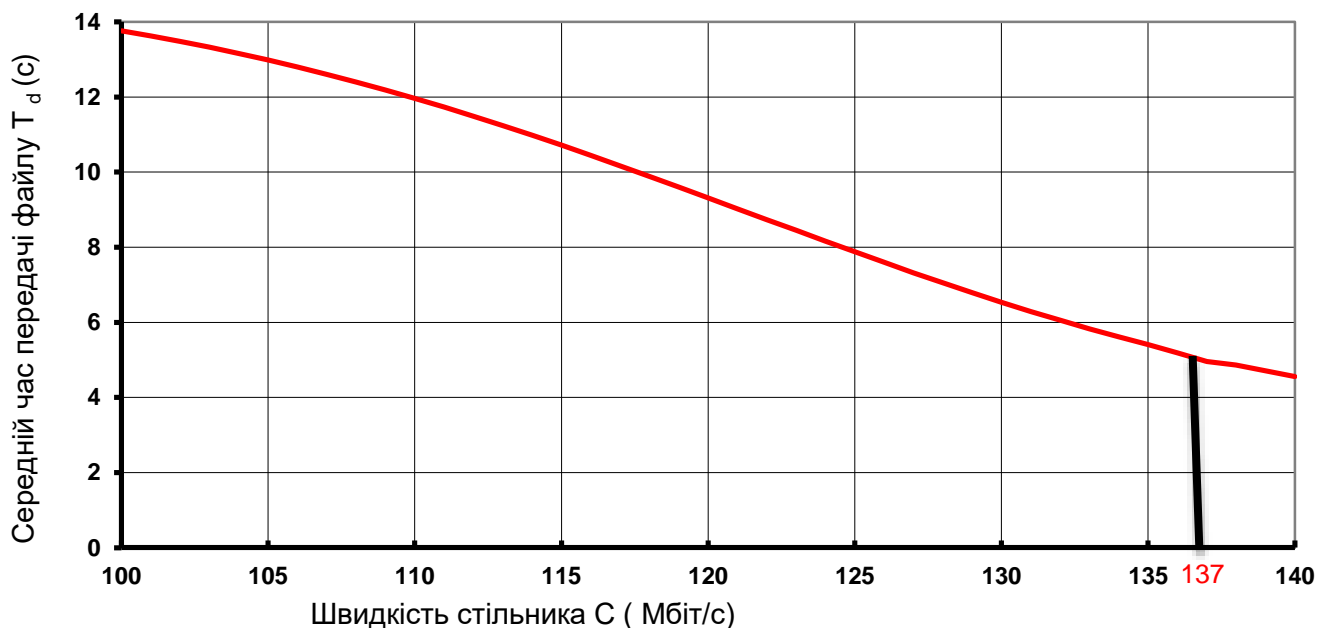


Рис. 3.14. Результати оцінки швидкості передачі стільника, що забезпечує обслуговування заданих потоків заявок на передачу даних та трафіку сервісів реального часу, із заданими величинами максимальних втрат та середнього часу передачі файлу

Як і очікувалося, зі зростанням C величина часу доставки файлу T_d падає. Починаючи зі значення швидкості $C = 137$ Мбіт/с, втрати заявок на передачу даних та трафіку сервісів реального часу стають меншими за 0,05, а середній час передачі файлу – меншими за 5 с.

Аналогічним чином можна підбирати максимально допустимий обсяг трафіку, який може бути пропущений в соті при фіксованій пропускній здатності C і заданій величині максимальних втрат (як нормативний показник можна також

використовувати і обмеження на середній час передачі файлу). Для цього при інших фіксованих параметрах моделі величина завантаження одиниці ресурсу стільниці зменшується доки не будуть виконані обмеження на якість обслуговування заявок, що надходять. Результати обчислень наведено на рис. 3.15, де показано дані розрахунку втрат заявок реального часу π_r та заявок на передачу даних π_d зі зменшенням значення завантаження ρ .

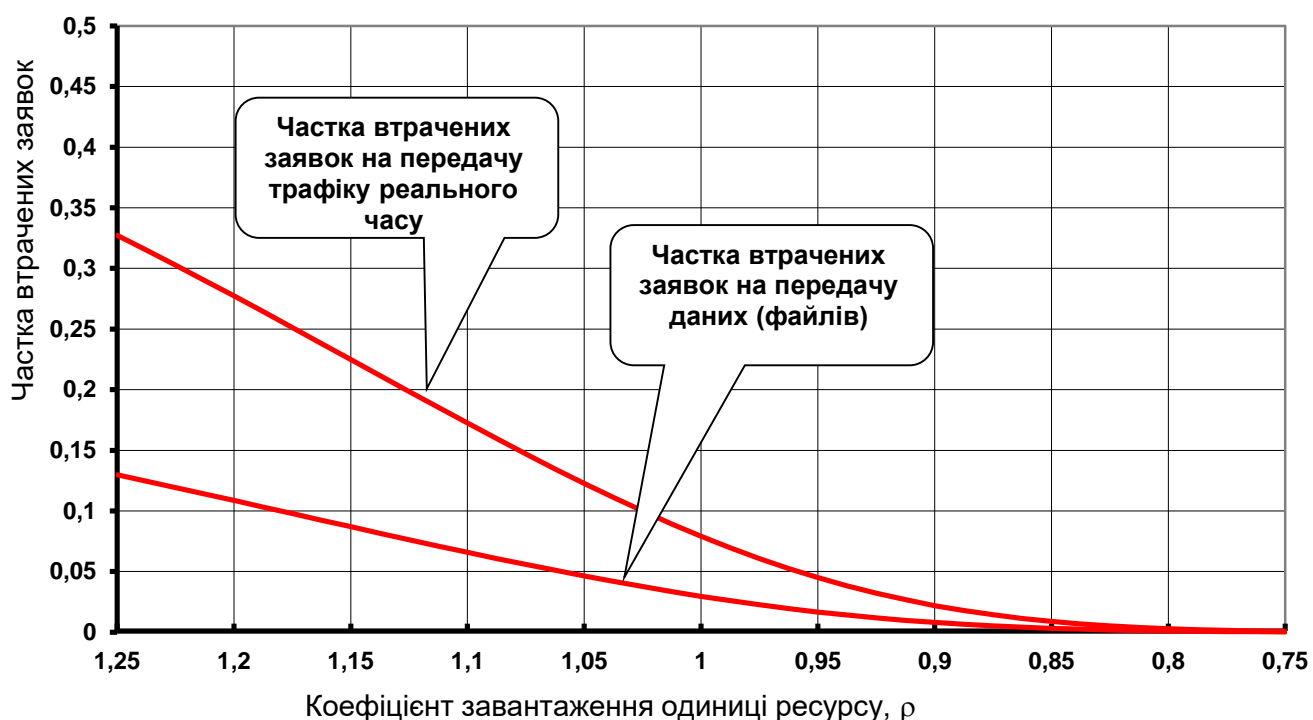


Рис. 3.15. Результати оцінки максимально допустимого обсягу трафіку, який може бути переданий через стільник мережі при фіксованій пропускній здатності і із заданою величиною максимальних втрат

Як і слід очікувати, зі зменшенням ρ втрати заявок падають. Для значень ρ менше 0,95 втрати заявок на передачу даних та втрати заявок на передачу трафіку сервісів реального часу стають менше 0,05.

В результаті імітаційного моделювання трафіку стільника мобільної мережі були отримані наступні результати:

1. Здійснено розрахунок розподілу ресурсів для моделі стільникової мережі

2. Проведений аналіз основних показників якості спільного обслуговування вхідних заявок мобільної мережі.

3. Розраховані показники якості спільної обробки вхідних заявок стільника мобільної мережі.

4.3 допомогою моделювання досліджено чисельні властивості показників спільного обслуговування заявок реального часу та передачі даних

5. В результаті моделювання отримано дані, які підтвердили ефективність спільної передачі трафіку реального часу та еластичного трафіку даних для підвищення завантаження радіо ресурсу фрагмента мобільної мережі.

6. Запропонована модель дозволила оцінити завдання планування пропускної здатності стільника мережі, а також максимальний об'єм трафіку, який може бути переданий із заданими показниками якості.

7. Розроблена модель дозволила оцінити переваги спільної передачі різнорідного трафіку.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

На теперішньому етапі розвитку техніки, автоматизації розробок та досліджень широкого використання на робочому місці набули ЕОМ. Велика кількість прикладних програм перетворює ЕОМ на основне знаряддя праці інженера.

Розміщення робочих місць, оснащених ЕОМ виконується в приміщеннях з одностороннім розміщенням вікон, що обов'язково мають бути оснащені сонцезахисними засобами: шторами та жалюзіями. При розміщенні робочих місць у приміщеннях з джерелами шкідливих та небезпечних виробничих чинників, вони зобов'язані розміщатись в повністю ізольованих кабінетах з природним освітленням та організованою вентиляцією. Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, має складати не менше $6,0 \text{ м}^2$, об'єм – не менше ніж 20 м^3 , а висота – не менше 3,2 м.

Робочі місця з відеодисплейним терміналом зобов'язані розміщатися на віддалі не менше як 1,5 м від стіни з віконними прорізами, від інших стін – на відстані 1 м, одне від одного на відстані не менше ніж 1,5 м. У випадку розміщення робочих місць необхідно виключити можливість прямого засвічування екрану джерелом природного освітлення. Робоче місце раціонально розташовувати так, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно з лівого.

Розташовувати відеодисплейний термінал на робочому місці необхідно так, щоб поверхня екрана повинна знаходитись на віддалі 400-700 мм від органів зору користувача. Висота робочої поверхні столу при виконанні роботи сидячи повинна налаштовуватись в межах 680-800 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше як 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм та на рівні витягнутої ноги не менше як 650 мм.

Поверхня підлоги повинна бути гладкою, без вибоїн, не слизькою, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Не дозволяється використовувати для оздоблення інтер'єру полімерні матеріали, що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

В середині приміщення, де здійснюється робота з дослідження методів підвищення пропускну здатності мобільних мереж, особливу увагу потрібно приділити запобіганню загрози ураження електричним струмом. У відповідності до [9] дане приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності високої (більше 75 %) вологості. Тому безпека експлуатації електрообладнання має забезпечуватись рядом заходів, що включають використання ізоляції струмоведучих частин, захисних блокувань, захисного заземлення тощо.

Величина напруженості електромагнітного поля на робочих місцях з персональними ЕОМ мають не перевищувати граничнодопустимі, які складають 20 кВ/м. Експозиційна доза рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана до корпусу монітора при будь-яких положеннях регульовальних пристроїв не повинні перевищувати $7,74 \cdot 10^{-12}$ Кл/кг, що відповідає потужності еквівалентної дози 0,1 мБер/год (100 мкР/год). З метою забезпечення захисту і досягнення нормативних рівнів випромінювань необхідно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

Зважаючи на те, що під час експлуатації пристроїв крім усього іншого обладнання використовується устаткування, робота якого генерує завади, потрібно передбачити захист від завад. Визначено, що приміщення, де проводиться робота з дослідження може мати робочі місця із шумом, що спричиняється вентиляторами блоку живлення ЕОМ і кулерами мікропроцесора та відеокарти. З метою попередження травмування від дії шуму він підлягає нормуванню. Основним документом стосовно виробничого шуму, що діє в нашій країні, Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у виробничих приміщеннях не мають бути більшими ніж значення, що приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Нормовані рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для встановлення нормованих показників шуму в приміщенні передбачено такі заходи:

1) оздоблення стін спеціальними перфорованими плитами, панелями з метою шумопоглинання;

2) контроль рівня шуму не менше 1 разу на рік.

Отже в даному підрозділі розглянуто вплив середовища на працездатність та здоров'я користувачів комп'ютерів. Як висновок можна сказати, що робоче місце яке використовувалось для написання даного наукового дослідження відповідає вимогам з охорони праці.

Однак необхідно не забувати що надмірна робота з ПК може привезти до порушення роботи організму користувача. Тому необхідно дотримуватись вимог щодо планування робочого часу за ЕОМ.

4.2.Безпека в надзвичайних ситуаціях

Вплив різних загрозливих чинників надзвичайних ситуацій може загрожувати роботі станцій зв'язку і цим вплинути на роботу систем в складі яких вони застосовуються. В пристроях що забезпечують роботу мобільних мереж входять такі матеріали: метали, неорганічні матеріали, провідники і різноманітні органічні сполуки (діелектрики, смоли і т.д.). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Іонізуючі випромінювання в радіоелектронній апаратурі, викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи

електричних елементів, що призводять до виходу з пристрою. Проходячи через елементи РЕА, потік гамма-випромінювань створює в них вільні носії електричних зарядів, який призводить до спрацьовування пристрою. При великих дозах випромінювання втрачають працездатність комплектуючі елементи систем радіоелектроніки і електроавтоматики. В транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробою та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична ізоляція дротів з полімерних матеріалів. В органічних діелектричних матеріалах змінюються електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат. Неорганічні матеріали менш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань.

Найбільш піддаються впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) системи управління і сигналізації. ЕМІ ушкоджують напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. ЕМІ має велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників. Слід також пам'ятати, що механічний захист апаратури не захищає від впливу ЕМІ. Апаратура може бути знищена навіть знаходячись у надійних спорудах.

Визначення області працездатності пристроїв в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Приймаючи до уваги елементну базу, що використовується для реалізації розроблювального пристрою, складається таблиця потужностей експозиційної дози опромінення для кожного елемента $P_{зв.i}$, що викликають початок зворотних змін (таблиця 4.2)

Таблиця 4.2

Потужності експозиційних доз кожного елемента

Елементи радіоелектронної системи	$P_{зв.i}$, Р/год	$P_{зв.}$, Р/год
Інтегральні мікросхеми	10^3	10 ³
Транзистори	10^4	
Діоди	10^4	
Конденсатори	10^7	
Мікросхеми	10^5	
Резистори	10^8	

Елементом, який найбільшою мірою піддається впливу випромінюванням, тобто елемент із мінімальним значенням $P_{зв} = 103 \text{ Р/год}$ є інтегральні мікросхеми.

В захисті від іонізуючого опромінення використовують алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (лантаноїдами і рідкоземельними елементами), сплави на основі тугоплавких і рідкоземельних елементів і багат шарові матеріали. Для боротьби з впливом іонізуючого випромінювання можна використати новітній, що полягає в захисному покритті на поверхнях даних елементів, які опромінюються покриттям з включенням атомів рідкоземельних елементів, введених в структуру армованої атомно-молекулярної захисної металічної матриці.

Найкращим серед заходів по підвищенню стійкості роботи від дії ЕМІ є повне укриття апаратури у екранованому металевим екраном. Але пристрої можуть експлуатуватись на транспортних засобах, то бажані інші заходи по захисту, такі як струмопровідні сітки та плівкові покриття вікон, стільникові металічні конструкції. Для захисту від проникнення електромагнітного імпульсу в апаратуру через різні кабельні вводи використовується перехід від електричних до волоконно-оптичних систем зв'язку, на які практично не має вплив ЕМІ. Також для захисту кабельних вводів є встановлення в конструкції вбудованих зенерівських діодів. Досить важливе значення має захист вводів до споруд таких як: електричних лінії зв'язку включаючи електромережу, водопровідні й опалювальні труби, по яким можливе проникнення наведеного ЕМІ. При оцінці стійкості роботи електротехнічних і електронних систем було визначено, що безпечна робота можлива при умові $E_v \leq 70 \text{ В/м}$.

ВИСНОВКИ

Основні результати роботи полягають у наступному.

1.Проведений аналіз роботи мобільних мереж показав, що для того, щоб мережа не перевантажувалася і не було порушення цілісності її роботи, необхідно вводити обмеження для певних видів трафіку.

2.Проведений аналіз основних показників якості спільного обслуговування вхідних заявок мобільної мережі. При розподілі ресурсів стільників мобільної мережі можуть бути використані адаптивні механізми виділення ресурсів, зокрема з використанням динамічного керування.

3.Дослідження проходження трафіку підтвердили, що заявки з більшими швидкостями зазнають і більших втрат.

4.Запропоновано введення гарантованої границі швидкості еластичного трафіку, що дозволить знизити втрати високошвидкісних з'єднань.

5.Моделювання фрагмента мобільної мережі підтвердило ефективність спільної передачі трафіку реального часу та еластичного трафіку даних при рівномірному завантаженні мобільної мережі.

6.Запропонована модель дозволила оцінити завдання планування пропускну здатності стільника мережі, а також визначено максимальний об'єм трафіку, який може бути передано із заданими показниками якості.

7.Розроблена модель дозволила оцінити можливості спільної передачі різнорідного трафіку сегмента мобільної мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. IEEE 802.11 Standard Group Web Site. URL: <http://www.ieee802.org/11/> (дата звернення: 11.12.2022).
2. IEEE 802.16 Standard Group Web Site. URL: <http://www.ieee802.org/16/> (дата звернення: 11.12.2022).
3. FCC. Technology Transitions, Order, Report & Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, Report Order, Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, Proposal for Ongoing Data Initiative, GN Docket No. 13-5, FCC 14-5 (rel. Jan. 31, 2014).
4. Stasiak, M. Modeling and Dimensioning of mobile networks from GSM to LTE. John Wiley & Sons Ltd. 2011. P. 136
5. VM Antonova, IA Gudkova, Abaev Modeling and simulation admission control scheme for no-real time services in LTE networks. Proceedings 29th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS. 2015. P. 689-695.
6. Antonova, VM Automatic scheduling of monorail transport system. International conference Engineering & Telecommunications En&T. 2016. P.18-22.
7. Antonova, VM Math modeling passenger traffic in monorail transport system. IEEE Proceedings 2016 10th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies. 2016. P. 90-94.
8. Willinger, W. Self-similar traffic modeling for high-speed network Connections. November, 1984. P. 203-213
9. IEEE Std 802.15.1-2005 - Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Специфікації для Wireless Personal Area Networks (WPANs)
10. Elster, Itron, Landis+Gyr, NICT та Silver Spring Networks Drive Adoption of IEEE 802.15.4g
11. Intel Mesh Networks Demonstrations. URL: http://www.intel.com/idf/us/fall2003/presentations/F03USWNTS116_OS.pdf (дата звернення: 11.12.2022).
12. Akyildiz, IF Wireless sensor and actor network: search challenges, 2004. P. 351-367.

13. Bhatia, R. On Power efficient communication over multi-hop wireless networks: joint routing, scheduling, and power control. IEEE Annual Conference on Computer Communications (INFOCOM). 2004. P.1457-1466.

14. Bleicher, A. LTE-Advanced Is the Real 4G. URL: <https://spectrum.ieee.org/telecom/standards/lte-advanced-is-the-real-4g> (дата звернення: 11.12.2022).

15. Ліщина В., Жаровський Р. Методи підвищення пропускної здатності в мережах LTE. Матеріали X науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 86.

16. Ліщина В., Луцик Н. Проблеми забезпечення якості передачі даних в мобільних мережах стандарту LTE. Матеріали XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 186.

17. Чайковський А.В., Жаровський Р.О., Лецишин Ю.З Конспект лекцій з дисципліни «Дослідження і проектування комп'ютерних систем та мереж» для студентів спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія. Тернопіль, 2021. 148 с.

18. An introduction to lte. lte, lte-advanced, sae and 4g mobile communications. Christopher Cox. UK.: John Wiley & Sons Ltd, 2012. P. 486

19. Couet, J. Satellites and Multimedia Alcatel Telecommunication Review. Fourth Quarter 1999. P. 250-257.

20. Teledesic. Technology Overview. URL: <http://www.teledesic.com/tech/tech.htm> (дата звернення: 11.12.2022).

21. Akyidiz, IF Wireless mesh networks: a survey. Computer Networks. 2005. Jan, 1. P. 445-487.

22. Erramilli, A. Modeling and Management Self-Similar Traffic Flows in High - Speed Networks. Network Systems Design. Gordon and Breach Science Publishers, 1999. P. 153

23. Perkins, C. Mobile IP IEEE Communications Magazine. 1997. 35 (5). P. 84-99.

24. Levy, H. Dominance relations in polling systems. *Queueing Systems*. 1990. vol. 6. P. 155-172.
25. Altman, E. Queueing in space. *Advances in Applied Probability*. 1995. vol. 26, no. 4. P. 1095-1116.
26. Kroese, DP Heavy traffic analysis for continuous polling models. *Journal of Probability*. 1997. vol. 34, no. 3. P. 720-732.
27. Fricker, C. Monotonicity i stability periodic polling models. *Queueing Systems*. 1994. vol. 15. P. 211-238.
28. Nassehi, MM CRMA: access scheme for high-speed LANs and MANs. *IEEE International conference on communications, SUPERCOMM ICC'90*. 1990. vol. 4.P. 1697-1702.
29. Antonova, VM Analytical Modeling and simulation admission control scheme for no-real time services in LTE networks *Proceedings - 29th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS*. 2015. P. 689-695.

Додаток А.
Тези конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МАТЕРІАЛИ

X НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



7–8 грудня 2022 року

ТЕРНОПІЛЬ
2022

В. Ліщина, Р. Жаровський МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МЕРЕЖАХ LTE V. Lishchyna, R. Zharovskyi METHODS OF INCREASE BANDWIDTH IN LTE NETWORKS	86
О. Марчук МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДОРОЖНИХ ЗНАКІВ НА ОСНОВІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОМЕРЕЖІ O. Marchuk ROAD SIGN IDENTIFICATION METHOD BASED ON A CONVULSIONAL NEURAL NETWORK	87
І. Мудрий ЛОКАЛІЗАЦІЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗОБРАЖЕННІ I. Mudryi LOCATION AND CLASSIFICATION OF IMAGE OBJECTS	88
Т. Патральський ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСФОРМАЦІЯ ДАНИХ У ХМАРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ GOOGLE CLOUD BIGQUERY T. Patralskyi DATA STORAGE AND TRANSFORMATION IN THE CLOUD ENVIRONMENT GOOGLE CLOUD BIGQUERY	89
В. Савчук, Н. Луцик АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ V. Savchuk, N. Lutsyk ANALYSIS OF EXISTING CLIMATE CONTROL SYSTEMS	90
В. Савчук, Н. Луцик РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ТА СЕНСОРІВ V. Savchuk, N. Lutsyk DEVELOPMENT OF THE CLIMATE CONTROL SYSTEM BASED ON THE MICROCONTROLLER AND SENSORS	91
С. Свергун, Р. Жаровський ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОБУДОВАНОГО НА МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ S. Svergun, R. Zharovskyi TESTING OF SOFTWARE BUILT ON MICROSERVICE ARCHITECTURE	92
С. Свергун, Р. Жаровський ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ, ПОБУДОВАНОГО НА МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ НА ОСНОВІ BDD S. Svergun, R. Zharovskyi TESTING OF SOFTWARE PRODUCT BUILT ON MICROSERVICE ARCHITECTURE BASED ON BDD	93
І. Слюз, Р. Жаровський ПРИНЦИПИ ТА ОСНОВНІ ЕТАПИ КОМПЛЕКСНОГО ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ I. Slyuz, R. Zharovskyi PRINCIPLES AND MAIN STAGES OF COMPLEX TESTING OF A COMPUTER INFORMATION SYSTEM	94

УДК 621.396

В. Ліщина, Р. Жаровський

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МЕРЕЖАХ LTE

UDC 621.396

V. Lishchyna, R. Zharovskyi

METHODS OF INCREASE BANDWIDTH IN LTE NETWORKS

Основною характеристикою будь-якої мережі зв'язку, як системи розподілу інформації, є ефективність її функціонування. Інтенсивне зростання трафіку ставить перед операторами завдання оптимізації доступу до ресурсів мережі. Технологія LTE є найбільш придатною для застосування алгоритмів динамічного управління пропускнуою здатністю мережі. Тому проведемо огляд та аналіз методів управління пропускнуою здатністю у мобільних мережах з метою розробки оптимального методу управління.

Під пропускнуою здатністю мережі зв'язку мають на увазі

$$D = \sum_{i,j} c_{ij} l_{ij}$$

де c_{ij} – номінальна пропускна здатність лінії між вузлами i та j в біт за одиницю часу, або Ерл при заданій якості обслуговування; l_{ij} – довжина лінії між вузлами i та j у км.

Продуктивність мережі зв'язку визначають наступним чином:

$$P = \sum_{s,t} V_{st} l_{st} / T$$

де V_{st} – обсяг переданих за час T повідомлень (у бітах) між кінцевими пунктами s і t ; l_{st} – довжина найкоротшого шляху між цими пунктами, T – час.

Однією з характеристик, що визначають рівень завантаженості обладнання системи протягом доби, є коефіцієнт концентрації навантаження. Величина коефіцієнта концентрації переважно залежить від структурного складу абонентів мобільної мережі і зазвичай лежить у межах 0,09-0,15. Чим рівномірніший графік цього коефіцієнта концентрації протягом доби, тим вище пропускну здатність мережі.

Існуючі способи підвищення пропускнуої здатності мобільних мереж наступні:

- використання пільгових тарифів.
- диференційоване обслуговування абонентів. поділ абонентів на категорії, за якого деякі обслуговуються з підвищеною якістю. Спочатку цей спосіб застосовувався в телеграфії (термінові телеграми) та на міжміській мережі (терміновий виклик з 3-кратною оплатою) при напівавтоматичному встановленні з'єднання. В даний час він знаходить широке застосування в мобільних мережах за допомогою різних рівнів обслуговування різних користувачів. При цьому знижується взаємний вплив користувачів різних категорій
- зниження навантаження за рахунок відмови від попереднього резервування каналів. У мережах стандарту GSM, згідно зі специфікацією MCE -T Q.764, при передачі по мережі OKC-7 початкового адресного повідомлення одночасно відбувається резервування розмовних каналів в інформаційній мережі.
- оперативне керування мережею. Застосовується для зменшення навантажень, які різко знижують пропускну здатність мережі. При цьому застосовуються методи оперативного керування мережею, які передбачають динамічне управління потоками як користувальницької, так і керуючої інформації, аж до обмеження доступу користувачів в мережу.

Саме цей спосіб і буде розглянутий у роботі, оскільки поява нових алгоритмів керування обладнанням дозволяє реалізувати його без втрат якості.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник
тез доповідей

**XI Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
7-8 грудня 2022 року



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2022

41.	Г.І. Франчевська, М.О. Хвостівський, В.Г. Дозорський ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ ПЛОДУ НА ФОНІ ЗАВАД	172
42.	І. Слюз, Р. Жаровський КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	174
43.	Y.I. Rudakevych, L.V. Moroz VIRTUAL REALITY: A BRIEF OVERVIEW	175
44.	Р.В. Ясіньський, Г.М. Осухівська, А.М. Паламар, Д.В. Величко КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	177
45.	П.С. Панчишин, М.І. Паламар МЕТОДИ І ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ АНТЕННИХ КОМПЛЕКСІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ	178
46.	А.О. Сачковський, М.І. Паламар ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ NECHAROD ДЛЯ ЗАДАЧ ПРЕЦИЗІЙНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЇЇ РОБОТИ	180
47.	В.С. Шкурін, Л.С. Дедів, В.Г. Дозорський ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ДОЗИ ГЕМОДІАЛІЗУ	182
48.	О.В. Куц, М.О. Мартиняк, В.Б. Савків АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ЗБЕРІГАННЯ РІДКОЇ ПРОДУКЦІЇ	183
49.	В.Р. Медвідь, О.І. Драбик АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СЕРВОПРИВОДАМИ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТА	184
50.	Р.П. Навозняк МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ПІСЛЯ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ	185
51.	В. Ліщина, Н. Луцук ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ СТАНДАРТУ LTE	186
52.	Г.В. Шимчук, О.С. Голотенко, Р.З. Золотий ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ ХМАРНИХ СЕРЕДОВИЩ	187
53.	М.С. Дзюмак, Р.З. Золотий, О.С. Голотенко, Т.Е. Рубен МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТРАНСПОРТУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЗАЛЕЖНО ВІД НАЯВНИХ ПЕРЕШКОД	189
54.	А.Г. Микитишин, М.С. Погорельцев, М. М. Прокопов, О.В. Сасовець РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ФІЛЬТРОМ	190
55.	Ю.І. Микитів, І.В. Чихіра, С. З. Кульчицький, О.І. Пиндик РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ У БУДІВЕЛЬНИХ ПРИМІЩЕННЯХ	191
56.	І.Я. Харів, В.Д. Тимошук, Р.З. Золотий, І.С. Дідич ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЗД ДРУКУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЯКІСНИХ ВИРОБІВ	192
57.	І.В. Луців, д.т.н., професор, Т.С. Дубиняк, к.т.н., доцент, Ю.І. Наконечний, В.А. Соколовський, М.А. Соколовський ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУБЧАСТОЇ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ З МОЖЛИВІСТЮ САМОВІДКЛЮЧЕННЯ	193

УДК 621.396

В. Ліщина, Н. Луцук, Ph.D.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ СТАНДАРТУ LTE

Vadym Lishchyna, Nadiia Lutsyk Ph.D.

PROBLEMS OF ENSURING DATA TRANSMISSION QUALITY IN LTE STANDARD MOBILE NETWORKS

Мобільні мережі четвертого покоління дають можливість суттєво збільшити передачу трафіку від абонентів. У мережах стандарту LTE керуючі функції перейшли до базових станцій, які, крім обслуговування радіочастот, почали здійснювати маршрутизацію абонентського трафіку. При цьому однією з головних проблем є проблема керування трафіком на радіоінтерфейсі з метою забезпечення заданих норм якості (QoS) за кожною наданою послугою більшості абонентів.

Зростання обсягу мультимедійних мобільних додатків призводить до того, що необхідна якість обслуговування може бути забезпечена тільки при використанні ефективних методів підвищення пропускної спроможності радіоінтерфейсу, тому що саме при бездротовому доступі виникають різкі перекоси навантаження через стохастичне переміщення абонентів. Постійне здешевлення послуг на мобільний зв'язок, поява нових типів абонентських терміналів, розвиток сервісів за адресною передачею потокового відео веде до зростання трафіку реального часу, швидкість якого має бути постійною. При цьому прогнозованим є і подальше збільшення найближчим часом також трафіку від міжмашинної взаємодії (M2M), який, як правило, має еластичні властивості та дозволяє змінювати швидкість передачі даних у деяких межах, залежно умов на мережі, тобто збільшення еластичного трафіку.

Найбільший вплив на управління продуктивністю в мобільних мережах надають такі фактори:

- порушення цілісності інформації команд управління мережевими процесами; блокування інформації;
- порушення логіки роботи програмного забезпечення

Аналіз результатів роботи існуючих мереж LTE показав, що для їх управління використовується автоматична функція управління мережею SON, яка апаратно вбудовується в устаткування вузлів мережі. Однак ця функція може тільки вводити межі за кількістю з'єднань, не обмежуючи при цьому швидкість передачі даних, що є нерациональним.

Спочатку моделі оцінки радіоресурсу мобільних мереж включали лише однорідний тип трафіку, для яких були знайдені аналітичні рішення і розроблені рекурентні алгоритми. Пізніше були розроблені алгоритми рішення для різномірного трафіку, що має постійну швидкість.

У зв'язку з появою додатків, що не потребують постійної швидкості передачі даних, почав проводитися облік моделей еластичного трафіку даних. Однак ці дослідження проводилися без урахування схем доступу, що реалізують пріоритетне обслуговування мультисервісних мобільних мереж четвертого покоління.

У діючих та перспективних мобільних мережах зв'язку актуальним є завдання зниження нестачі ресурсів у зв'язку з появою сервісів, які потребують великої швидкості передачі. Тому, щоб підвищити ефективність ресурсу передачі, пропонується керувати швидкістю еластичного трафіку. Це дозволить не лише підвищити пропускну спроможність, а й покращити якість обслуговування.