

УДК 621.391

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ В ГЕТЕРОГЕННІЙ ІНТЕНЦІЙНО-ОРІЄНТОВАНІЙ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ МОБІЛЬНОГО QoE ДОДАТКУ



М.І. БЕШЛЕЙ, А.І. ПРИСЛУПСЬКИЙ, Г.В. БЕШЛЕЙ

Національний університет «Львівська політехніка»

Abstract – Traditional Service Level Agreement (SLA) based on the quality of service (QoS) management methods are insufficient to ensure quality-related contracts between service providers and users. This article proposes a user-centric method for QoS management in heterogeneous mobile networks. Based on a new QoE metric on a scale of 1 to 5, this method considers the commercial value of electronic services to end-users. With this approach, the configuration and functionality of the network automatically change depending on the requirements of the end-users. The work proposes a conceptual model for constructing an intent-based software-defined heterogeneous network, which effectively manages shared resources and adapts to users' needs. A prototype of a mobile and operator application for adaptive client-oriented service delivery in a heterogeneous network has been developed, which makes it possible to obtain the ordered QoE based on the feedback between the user and the network operator. Using this approach will allow network operators to provide individualization of service users with a certain level of QoS by analyzing their estimates of QoE (ordered through the developed mobile application). And the use of machine learning algorithms will allow to react to unfavorable combinations of values of quality indicators and prevent the situation when the user is not satisfied with the quality of services received for adaptive prediction of the moment of network reconfiguration. We propose a method for managing the QoS provision in a heterogeneous wireless network using Big Data technology and a mobile QoE application, which considers and analyzes the estimates of the ordered QoE and allows users QoS improvement according to the demand. It is demonstrated that using the proposed method in a heterogeneous wireless network allows reducing the number of dissatisfied users with the quality of service by up to 60% using an experimental study.

Анотація – Традиційні методи управління якістю послуг, що засновані на SLA (угода про рівень послуг), недостатні для забезпечення контрактів, що стосуються якості, між постачальниками послуг та користувачами. У статті пропонується орієнтований на клієнта метод управління якістю надання послуг для гетерогенних мереж мобільного зв'язку. Даний метод базується на новій метриці QoE за шкалою від 1 до 5, що дає змогу врахувати комерційну цінність електронних послуг для кінцевих користувачів. На основі цього підходу конфігурація мережі та функціональність обладнання автоматично змінюються залежно від вимог користувачів. У роботі пропонується концептуальна модель побудови гетерогенної програмно-конфігурованої інтенційно-орієнтованої мережі, яка дає змогу забезпечити ефективне управління спільними ресурсами, адаптуючись під потреби користувачів. Розроблено прототип мобільного та операторського додатку для адаптивного клієнт-орієнтованого надання послуг в гетерогенній мережі, що дає змогу отримувати замовлену якість обслуговування на основі зворотного зв'язку між користувачем та оператором мережі. Використання даного підходу дасть змогу операторам мережі забезпечити індивідуалізацію обслуговування користувачів з певним рівнем якості надання сервісів шляхом аналізу їх QoE оцінок (замовлених через розроблений мобільний додаток) та за допомогою алгоритмів машинного навчання реагувати на несприятливі поєднання значень показників якості і попереджати ситуації, коли користувач незадоволений якістю отриманих сервісів, для адаптивного прогнозування моменту переконафігурації мережі. Запропоновано метод управління якістю надання послуг у безпроводовій гетерогенній мережі з використанням технології Big Data та мобільного QoE додатку, який враховує та аналізує оцінки замовленої якості сприйняття послуги та дає змогу покращити якість обслуговування користувачів на вимогу. Шляхом експериментального дослідження доведено, що використання запропонованого методу в гетерогенній безпроводовій мережі дозволить зменшити кількість незадоволених користувачів якістю обслуговування до 60%.

Вступ

Стрімке зростання обсягів інформаційного трафіку призводить до того, що мобільні мережі наступного покоління повинні орієнтуватися на потреби клієнтів для підвищення якості обслуговування [1]. Для того щоб адаптуватися до зростаючого потоку інформації в найближчій перспективі, існуючі підходи, такі як розширення спектра і розгортання більшої кількості базових станцій в мобільній мережі, перес-

тануть бути актуальними з погляду вартості, масштабованості і гнучкості [2]. Різке зростання обсягу інформаційного трафіку, який в основному викликаний мобільним відео, соціальними мережами та різними сервісами Інтернету речей, змушує операторів мобільного зв'язку шукати інноваційні способи управління своїми мережами в умовах обмежених частотних і транспортних ресурсів [3-5].

Перед телекомунікаційними компаніями стоїть завдання створення мереж, інтегрованих на всіх рівнях, що поєднують різні стандарти та технології забезпечуючи плавний перехід від одного стандарту до іншого, від однієї технології до іншої. Саме такі мережі стали називатися гетерогенними [6]. В умовах гетерогенності та сумісного функціонування багатьох операторів безпроводового зв'язку першочерговим завданням стає ефективне управління спільними радіоресурсами і забезпечення прозорого переміщення абонентів, включаючи такі механізми, як підтримка мобільності, хендовер, забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS), а також системи безпеки та білінгу [7]. Хендовер у гетерогенній мережі є ключовою функцією, що дає змогу абонентам безперешкодно переміщатися по території покриття мережі [8]. Однак горизонтальний хендовер є добре вивченою процедурою і в основному заснований на рівні сигналу (Received Signal Strength, RSS) [9]. Тоді як вертикальний хендовер є більш складною процедурою через гетерогенну природу різних мобільних мереж, що зі свого боку потребує вдосконалення методів для ефективного використання ресурсів, максимізації якості послуг і задоволеності користувачів.

У більшості з відомих наукових робіт у процесі оптимального вибору мережі радіодоступу в гетерогенному середовищі розглядаються лише декілька параметрів, які не дають змоги динамічно адаптувати правила прийняття рішень щодо хендоверу з урахуванням мінливих вимог користувачів щодо якості надання послуг [10-12]. Зазвичай різні послуги та додатки управляються за допомогою набору параметрів QoS (наприклад, втрат, затримки та джитера пакетів) [13]. Тим не менше, управління ресурсами мережі може бути більш ефективним, коли оцінюється якість сприйняття кінцевих користувачів (Quality of Experience, QoE), параметричне значення якого приймається як мета оптимізації замість QoS [14-16].

Аналіз даних дає змогу дізнатись операторам про технічні параметри мережі, що впливають на рівень QoE користувачів. Після чого використання глобальної оптимізації мережі дає можливість вибрати найкращі параметри відповідно дії щодо забезпечення замовленого рівня якості надання послуг. Загалом метою оптимізації гетерогенної мережі є максимізація QoE для користувачів з належним розподілом ресурсів за умови мінімізації витрат на інфраструктуру [17]. Саме тому управління мережними ресурсами з урахуванням намірів кінцевих користувачів щодо якості обслуговування є актуальним завданням для сучасних і майбутніх мереж мобільного зв'язку.

I. Концептуальна модель гетерогенної програмно-конфігурованої інтенційно-орієнтованої мережі

У роботі запропоновано концептуальну модель гетерогенної програмно-конфігурованої інтенційно-орієнтованої мережі (Intent-Based Software-Defined Heterogeneous Network, IBSDHN), яка дає змогу забезпечити ефективний розподіл і перерозподіл загальних ресурсів, адаптуючись під мінливі вимоги бізнес-користувачів щодо якості надання сервісів. Головна ідея запропонованої концепції IBSDHN полягає у зміні парадигми мережної інфраструктури: тепер не користувач зі своїм додатком підлаштовується під можливості мережі, а мережа змінює свої налаштування з урахуванням вимог користувача. Забезпечення згідно з намірами користувачів заданого рівня QoE послуг стає фундаментальною проблематикою для реалізації наскрізного керування ресурсами у концепції інтенційно-орієнтованих мереж (Intent-Based Network, IBN) [18]. Таким чином, для розроблення нової системи адаптивного управління якістю надання інформаційних послуг у роботі використано системний підхід, зокрема проблема забезпечення якості вирішується не ізольовано операторами мереж, а у тісній взаємодії з користувачами послуг. Для цього SDN/IBN контролер аналізує стан мережі та відповідні замовлені QoE оцінки користувачів, що характеризують певний рівень якості обслуговування, а також автоматизовано налаштовує конфігурацію мережі на основі накопиченого досвіду і розроблених нових методів розподілу ресурсів та інженерії трафіку на кожному рівні концептуальної мережі. Даний підхід реалізовується шляхом введення алгоритмів машинного навчання підкласу штучного інтелекту в систему управління послугами. Таким чином, конфігурація мережі і функціональність обладнання автоматично змінюються залежно від мінливих вимог користувача. Для цього запропонована концептуальна модель гетерогенної IBN мережі базується на принципах централізованості, програнованості, абстракції та відкритості, використовуючи технології SDN, NFV (Network Functions Virtualization), SDR (Software Defined Radio), Big Data та Cloud computing.

Розроблення засобів зворотного зв'язку між клієнтом і оператором щодо адаптації рівня якості надання сервісів чи їх намірів в умовах мінливих вимог користувачів є одним із важливих і невирішених на сьогоднішній час завдань для повноцінної реалізації концепції інтенційно-орієнтованої мережі. Саме тому у роботі пропонується практична реалізація такого засобу, зокрема розроблено прототип мобільного та операторського додатку для адаптивного клієнт-орієнтованого надання послуг у майбутній гетерогенній інтенційно-орієнтованій мережі. Використання даного підходу дасть змогу операторам мережі забезпечити індивідуалізацію обслуговування користувачів з певним рівнем якості надання сервісів шляхом аналізу їх QoE оцінок (замовлених через розроблений мобільний додаток) та за допомогою алгоритмів машинного навчання реагувати на несприятливі поєднання значень показників якості, а також попереджати ситуації, коли користувач незадоволений якістю отриманих сервісів для адаптивного прогнозування моменту переконфігурації мережі.

Крім технічних факторів, існують різні не технічні фактори, які можуть вплинути на формування кінцевого результату QoE, зокрема тип пристрою, емоції користувача, звички тощо. Таким чином, під час оцінки QoE корисно створити окремий профіль для кожного користувача, який представляє собою модель поведінки користувача зі звичками та інтересами. Користувач зазвичай не хоче витратити багато часу, відповідаючи на запитання, щоб створити модель профілю. Як альтернатива, профіль користувача може бути побудований інтуїтивно із використанням аналізу даних з неявною інформацією, зібраною колекцією профілю, додатком, який встановлений на мобільних пристроях. Відповідно діяльність самих користувачів відслідковується та порівнюється, щоб визначити схожість та відмінності. Аналогічно, дані мережі, включаючи параметри QoS, збираються через вимірювання та сигналізацію в гетерогенній інфраструктурі. Усі дані зберігаються в базі даних для подальшої обробки.

Концептуальна модель гетерогенної мережі IBN з використанням пропонованого мобільного та операторського додатку показана на рис. 1.

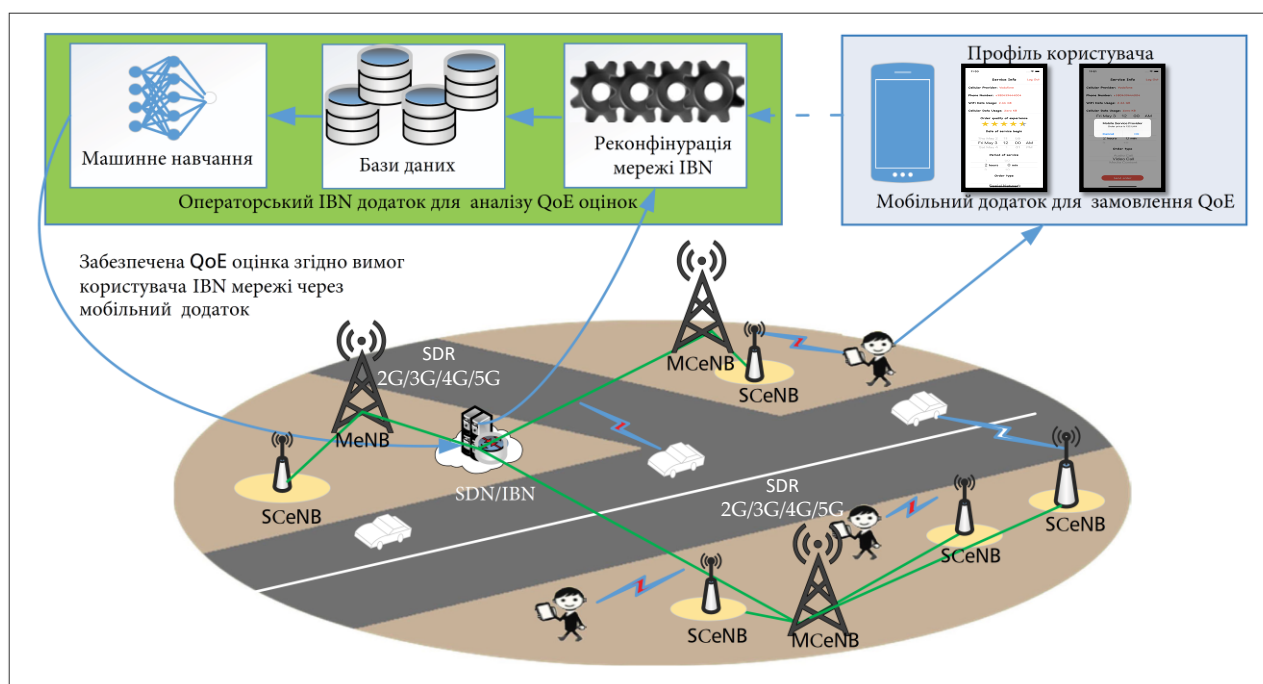


Рис. 1. Концептуальна модель гетерогенної мережі IBN із QoE додатком

Для розробки даного QoE мобільного додатку використано:

1. Платформу розробки мобільних та веб-застосунків Firebase.
2. Середовище розробки xCode.
3. Емулятор мобільного пристрою iOS Simulator.

На рис. 2 показано функціональні можливості мобільного додатку.

Початковим екраном після запуску додатку є "Authorization Screen", який призначений для автентифікації, як адміністратора мережі IBN, так і для звичайного користувача. Основними функціями даного блоку є:

- *User authorization request* – запит на авторизацію звичайного користувача;

- *Admin authorization request* – запит на авторизацію адміністратора;
- *User phone confirmation code* – підтвердження номеру звичайного користувача за допомогою коду який буде надіслано на мобільний номер після авторизації через “Firebase Auth”.

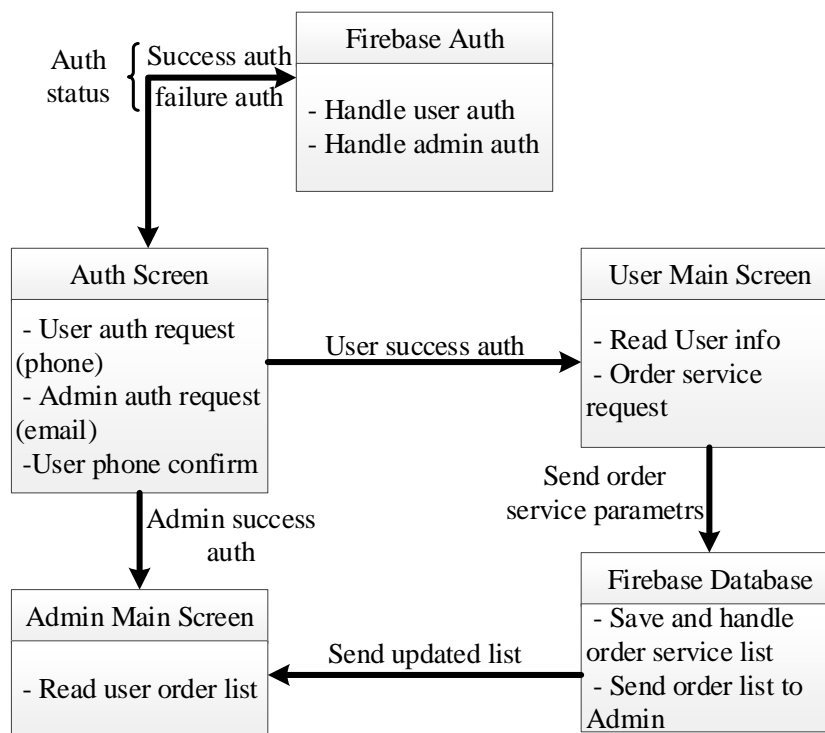


Рис. 2. UML-діаграма мобільного додатку Mobile-Service-Provider

При авторизації дані користувача (мобільний телефон) чи дані адміністратора (електронна пошта та пароль) відсилаються в службу “Firebase Auth”, яка має можливість виконувати такі функції даного блоку:

- *Handle user authorization credential* – обробляти дані користувача та підтверджувати чи відхиляти авторизацію;
- *Handle admin authorization credential* – обробляти дані адміністратора та підтверджувати чи відхиляти авторизацію.

Далі за умови успішної авторизації користувача відкривається “User Main Screen” блок, який має такий набір функцій:

- *Read user info* – користувач може переглядати інформацію власного акаунта;
- *Order service request* – зробити запит на надання послуг за замовленням.

Якщо користувач зробив запит на надання послуг, виконується надсилання даних у базу даних служби “Firestore Database”, даний блок виконує такі функції:

- *Save and handle order service* – дані обробляються та зберігаються в базі даних, яка формує список запитів;
- *Send order list to admin menu* – дана функція автоматично при любых змінах у базі даних відсилає оновлений список запитів до адміністратора;

– *Read user order list* – адміністратор може переглядати список запитів від користувачів і, відштовхуючись від цього у разі потреби, редагувати дані запити через доступ до Firebase.

Платформа Firebase потрібна для використання двох сервісів, які вона надає, а саме – *Firebase Auth* та *Firebase Database*.

Firebase Auth – це служба, яка може автентифікувати користувачів, використовуючи лише код на стороні клієнта. Вона підтримує соціальні логін-провайдери Facebook, GitHub, Twitter і Google та включає в себе систему управління користувачами, за допомогою якої розробники можуть увімкнути автентифікацію користувача за допомогою входу з електронної пошти та пароля, що зберігаються в Firebase.

Firebase Database надає в режимі реального часу базу даних та сервер як службу. Ця служба надає розробникам застосунки прикладних програмних інтерфейсів (Application Programming Interface, API), які дозволяють синхронізувати дані застосунків між клієнтами та зберігати їх у хмарі Firebase.

II. Функціональні можливості клієнтської частини розробленого мобільного QoE додатку

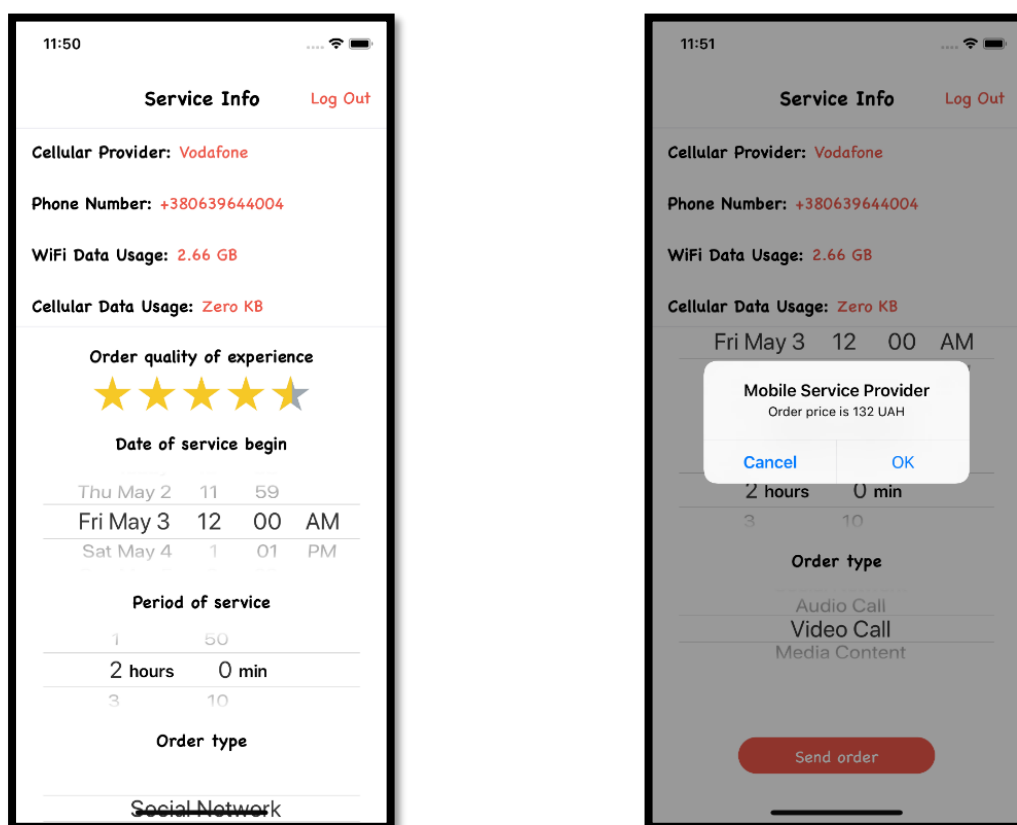
Для створення мобільного додатку на платформі iOS використано середовище розробки xCode та мову програмування Swift.

У процесі відкриття мобільного додатку користувач автоматично переходить на екран автентифікації. У користувача є два типи автентифікації: через мобільний телефон, що використовується для звичайних користувачів, які хочуть замовити послугу мобільного зв'язку; та через електронну пошту, що використовується адміністратором для перегляду списку замовлень через додаток. Для прикладу розглянемо автентифікацію клієнта в розробленому додатку, який матиме можливість замовити послугу мобільного зв'язку з певним рівнем якості обслуговування. Для цього користувачу потрібно ввести власний мобільний номер, до якого буде прив'язаний його аккаунт у додатку за допомогою служби *Firebase Auth*. Формат номеру телефону має мати такий вигляд "+380XXXXXXXXX". Далі користувач при натиску на кнопку "Sign In" переходить на браузерне вікно, де служба *Firebase Auth* перевіряє, що реальна людина пробує авторизуватись у додатку. За умови успішної перевірки служби *Firebase Auth* користувачу відкривається вікно підтвердження номеру мобільного телефону, на який надіслано код підтвердження для автентифікації.

Користувачу потрібно ввести код підтвердження в поле вводу та натиснути кнопку "OK", якщо код введено правильний, клієнту відкривається екран з власною короткою інформацією та інтерфейсом для замовлення послуг мобільного зв'язку. У навігаційному меню зображено заголовок екрану та кнопку "Log Out", яка дає змогу користувачеві вийти зі свого аккаунту в додатку.

На екрані головного меню у верхньому блоці відображається інформація користувача: провайдер мобільного зв'язку, номер телефону, об'єм використаного трафіку через "Wi-Fi", об'єм використаного трафіку через мобільні дані (2G-4,5G).

Користувач має можливість задати параметри, за якими буде надаватись послуга: оцінка QoE, що характеризує рівень якості надання послуг; дата початку надання даної послуги; період надання даної послуги; тип сервісу, за яким будуть надаватись послуги (рис. 3). Підхід щодо адаптивного надання сервісів організовується шляхом встановлення QoE оцінок користувачами мережі, яка виставляється за шкалою від 1 до 5. Чим вища оцінка, тим краща якість сервісу гарантується, і тим дорожче коштуватиме надання даного сервісу для кінцевого користувача, зокрема в умовах обмеженості мережних ресурсів.



а) вікно підтвердження замовлення

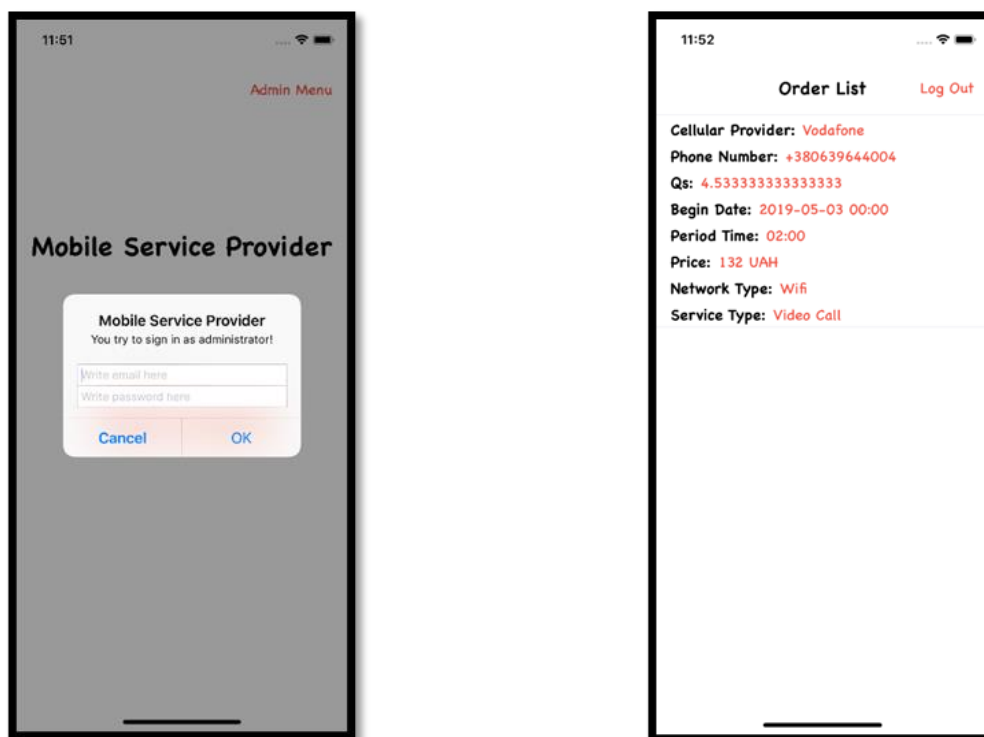
б) екран головного меню зі зміненими параметрами замовлення послуги

Рис. 3. Інтерфейс користувача

На рис. 3 а показано стан додатку під час прокручування вниз блоку із замовленням послуги за певними критеріями, які обрав користувач. Також тут розташована кнопка “Send order”, яка відкриває користувачеві вікно з підтвердженням даного замовлення. У вікні відображається ціна даного замовлення, користувач має можливість відмінити запит на отримання даної послуги чи підтвердити її за допомогою кнопок “Cancel” та “OK” (рис. 3 б).

III. Функціональні можливості операторської частини розробленого мобільного QoE додатку

Оператору мобільного зв'язку чи адміністратору для того, щоб автентифікуватися у додатку, потрібно натиснути на кнопку “Admin menu”, яка відкриє вікно з полями для автентифікації адміністратора. Адміністратор автентифікується, використовуючи електронну пошту та пароль, створений для нього. Користувач має можливість відхилити автентифікацію як адміністратор чи підтвердити її за допомогою кнопок “Cancel” та “OK” (рис. 4).



а) головний екран адміністратора зі списком замовлень послуг

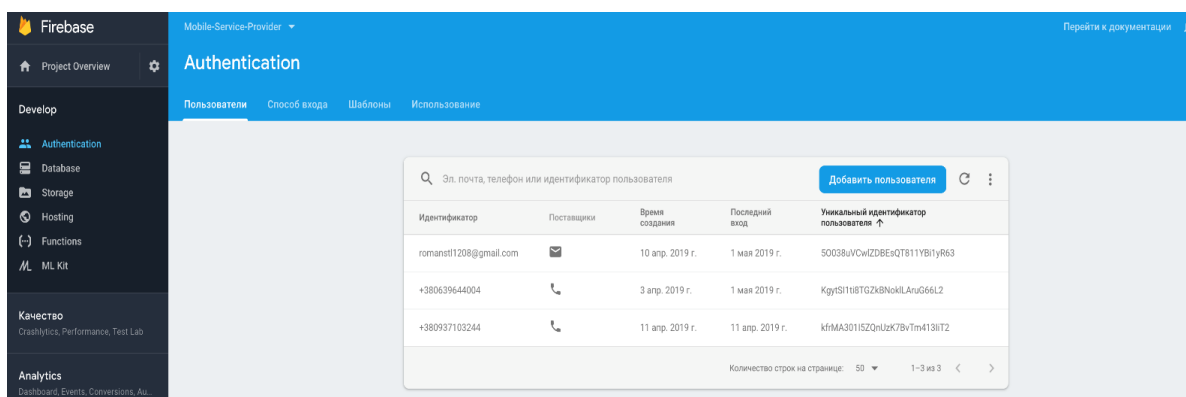
б) вікно автентифікації адміністратора

Рис. 4. Інтерфейс адміністратора

У концепції IBN функції системного адміністратора виконує інтелектуальний контролер, який вмiє перетворювати певні наміри в набір команд для реалізації автоматизованого управління. Якщо користувач успішно автентифікувався як адміністратор, то відкривається головний екран адміністратора. Адміністратор так само, як і звичайний користувач, має можливість вийти зі свого акаунту за допомогою кнопки “Log Out”. Також на екрані відображається список усіх замовлень користувачів відсортований за датою початку надання послуг мобільного зв'язку. Кожне замовлення відображається з такими параметрами: назва провайдера; мобільний номер замовника послуги; QoE (рівень якості надання послуг); дата початку надання послуг; період надання послуг; ціна даної послуги; тип з'єднання користувача в момент замовлення послуги; тип контенту, для якого будуть надаватись послуги.

IV. Функціональні можливості хмарного сервісу для обробки даних з мобільного QoE додатку

На даній платформі створено проєкт Mobile Service Provider, який у подальшому застосовувався як сервіс автентифікації користувача в мобільному додатку та як хмарна база даних працює в режимі реального часу. Даний додаток створюється з метою забезпечення можливості операторів мобільного зв'язку мати доступ до даних, у яких зберігається інформація від користувачів щодо запиту на вимогу певної послуги з необхідним рівнем сприйняття послуги (рис. 5). Після чого оператори, попередньо проаналізувавши зібрані дані, повинні забезпечити надання даної послуги згідно виставленого тарифу, відповідно до яких формується запит. Мобільні користувачі, зі свого боку, мають доступ до даних запитів з можливістю перегляду суми оплати надання послуги. Також налаштовані методи автентифікації користувача в мобільному додатку за допомогою служби *Firebase Auth*. За допомогою служби *Firebase Auth* ми можемо отримати доступ до списку користувачів мобільного додатку та типу автентифікації користувача.



The screenshot shows the Firebase Authentication console for a project named 'Mobile-Service-Provider'. The 'Users' tab is active, displaying a table of users. The table has columns for Identifier, Provider, Creation Time, Last Sign In Time, and Unique Identifier. Three users are listed:

Идентификатор	Поставщики	Время создания	Последний вход	Уникальный идентификатор пользователя ↑
romanel1208@gmail.com	📧	10 апр. 2019 г.	1 мая 2019 г.	50038vCwZDBerQT811YB1uR63
+380639644004	☎	3 апр. 2019 г.	1 мая 2019 г.	KguYS1h8TGzK8NoiLAruG66L2
+380937103244	☎	11 апр. 2019 г.	11 апр. 2019 г.	kfMA30115ZQnUzK79vTm4138T2

Рис. 5. Список користувачів мобільного додатку

При використанні служби *Firebase Database* можна аналізувати та редагувати дані, які були отримані з мобільного додатку. Дана можливість є корисною для операторів мобільного зв'язку.

На рис. 6 зображено інтерфейс бази даних у службі *Firebase Database*. За допомогою мобільного додатку в базі даних створюється об'єкт під назвою "ordered-items", який у подальшому використовується як список замовлень користувачів під час надання послуг у гетерогенній мережі. Кожне замовлення послуг зі сторони мобільного додатку отримує свій універсальний ідентифікатор у базі даних. Даний ідентифікатор слугує об'єктом, який містить у собі набір параметрів, отриманих від користувача додатку.

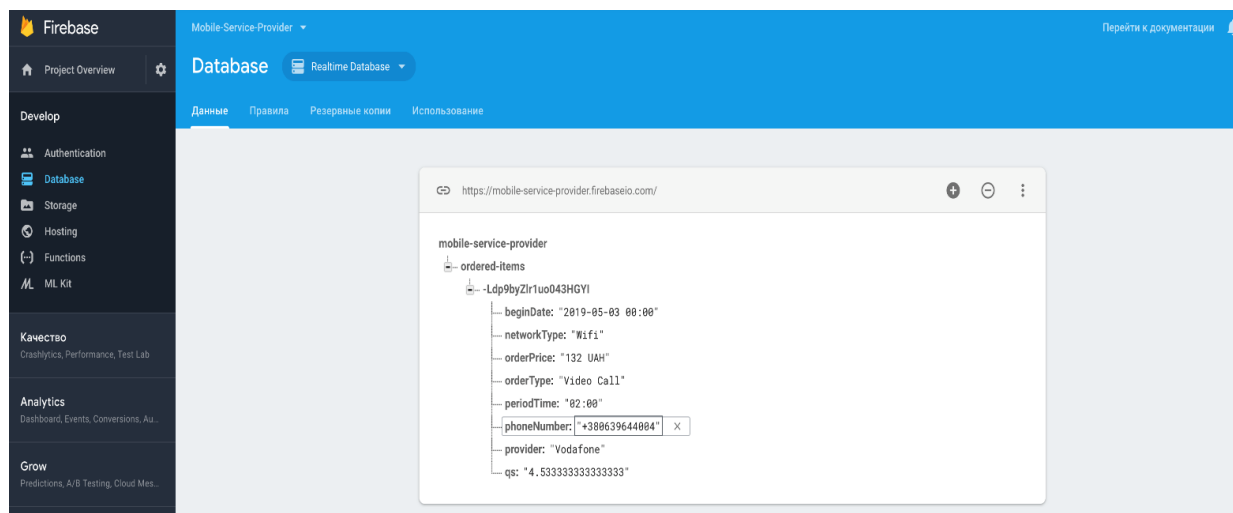


Рис. 6. Інтерфейс бази даних в службі Firebase Database

V. Метод адаптивного надання послуг у гетерогенній IBN мережі з використанням Big Data та розробленого QoE додатку

Для надання послуг користувачеві за замовленими параметрами потрібно виділяти користувача в певний період часу як пріоритетного (на період надання замовлених послуг). У деякі періоди часу мережа може мати надмірне навантаження, яке впливає на якість надання даних послуг. Саме для цього розроблено метод, що буде забезпечувати надання даних послуг для користувачів з урахуванням їх QoE намірів.

На рис. 7 представлено структурно-функціональну схему запропонованого методу, що дає змогу ефективно управляти ресурсами гетерогенної мережі для надання замовлених послуг з необхідним рівнем якості сприйняття послуг.

Забезпечення замовленого QoE користувачем в гетерогенній мережі досягається шляхом застосування 4-х способів управління процесом обслуговування абонентів:

1. Пошук альтернативної радіо технології безпроводового зв'язку (SDR/2G/3G/4G/5G) з необхідними ресурсами для задоволення необхідного QoE.

2. Аналіз наданих ресурсів для активних сесій (які обслуговуються за стандартним рішенням та відносяться до непріоритетних користувачів) поточної технології та мінімізація ресурсів до надання допустимого значення якості.

3. Переключення непріоритетних користувачів на альтернативні технології, для яких плавно забезпечується отримана якість аналогічно до наданої в поточній радіо-технології з метою вивільнення ресурсів поточної технології для пріоритетних користувачів, що використовують запропонований додаток з можливістю замовлення бажаної послуги з відповідним рівнем якості сприйняття.

4. Тимчасове відключення непріоритетних користувачів, які використовують значну кількість ресурсів поточної технології з метою вивільнення ресурсів для пріоритетних користувачів, що використовують запропонований додаток з можливістю замовлення бажаної послуги з відповідним рівнем якості сприйняття.

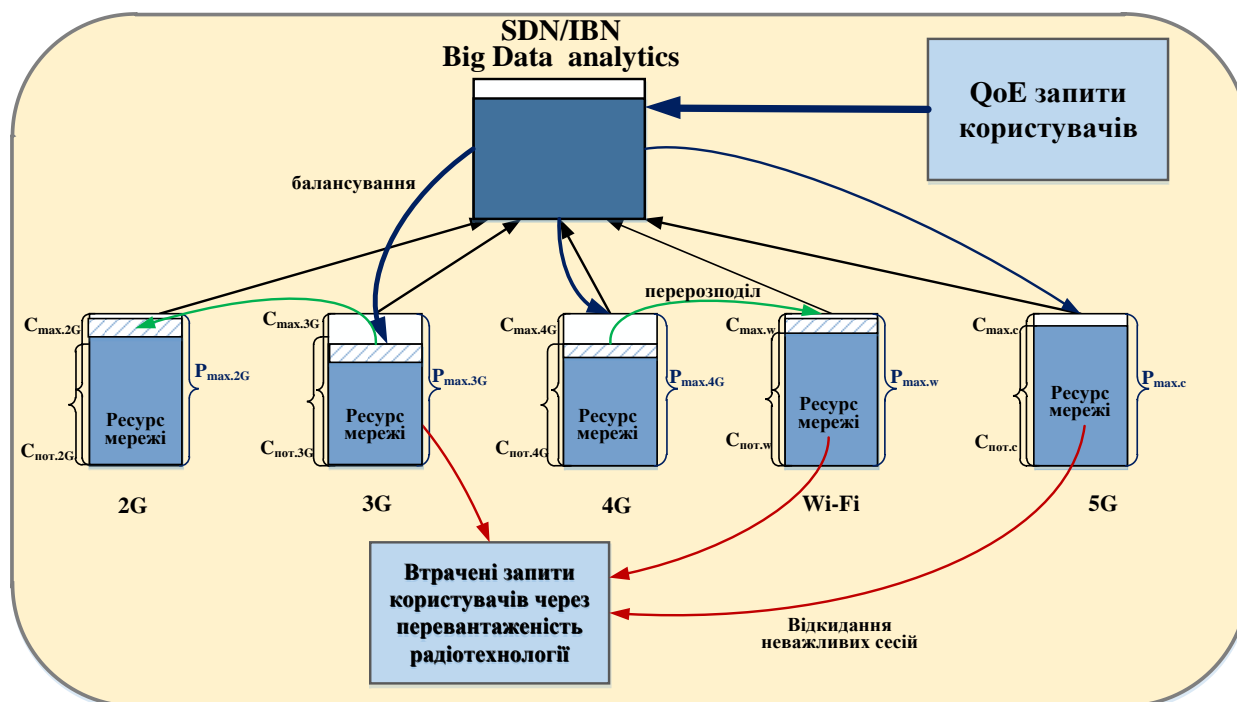
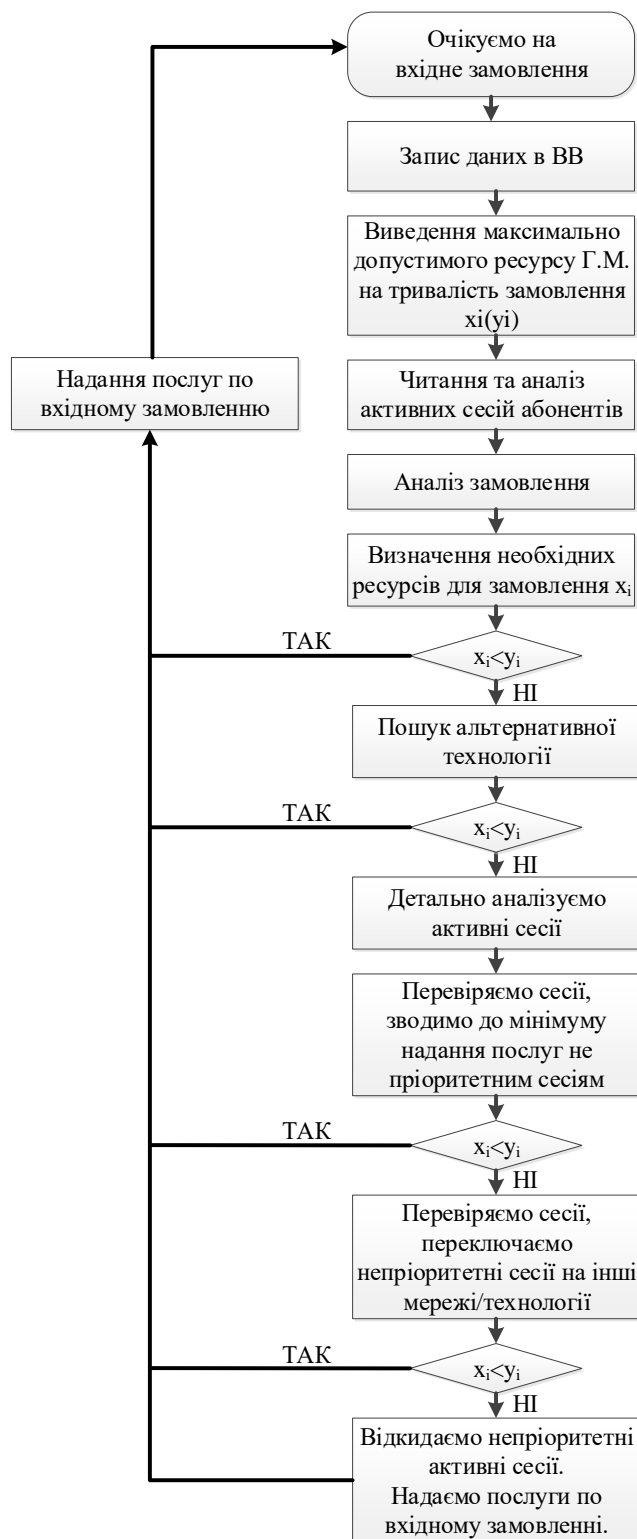


Рис. 7. Структурно-функціональна схема методу адаптивного надання послуг у гетерогенній IBN мережі

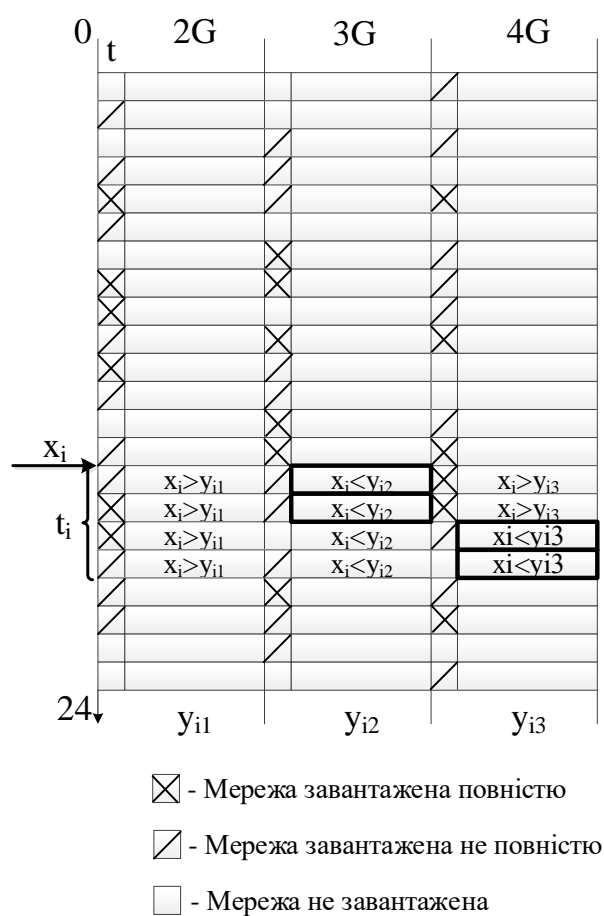
Процес роботи методу розпочинається з запису вхідних даних у базу даних (БД) (рис. 8 а). До вхідних даних належать запити на обслуговування відповідно до замовленої якості, зібрані за допомогою розробленого мобільного QoE додатку, а також дані про стан гетерогенної мережі (активні сесії для кожної технології).

Після запису статистичних даних здійснюється перехід до їх аналізу та порівняння з максимально допустимими значеннями для кожної з технологій. За допомогою аналізу даних, оцінюються критичні точки в мережі та приймаються рішення про підключення пріоритетних запитів і мінімізацію наданих ресурсів непріоритетних активних сесій, що поступають у конкретний момент часу.

У випадку завантаження гетерогенної мережі проводиться детальний аналіз NP (Network Params) активних сесій і запитів, що надійшли. Далі обчислюється об'єм вільних ресурсів в гетерогенній мережі та порівнюються із необхідним об'ємом ресурсів для обслуговування вхідних запитів. Якщо є необхідний об'єм ресурсів, тоді відбувається перерозподіл і балансування навантаження в гетерогенній мережі, а кожному з користувачів, які замовили послугу, надсилаються дані про оптимальну базову станцію (БС), яка може його обслужити. В іншому випадку, аналізується пріоритетність активних сесій і вхідних запитів. Непріоритетні сесії та запити відкидаються та будуть опрацьовані пізніше, а пріоритетні запити обслуговуються з необхідною якістю обслуговування. Після цього через час Δt алгоритм виконується знову. Даний метод розглядає користувачів як пріоритетних, якщо вони використовують мобільний QoE додаток для замовлення послуг з певними параметрами та тривалістю виконання даної послуги. Інші користувачі позначаються як непріоритетні.



а) блок-схема методу надання послуг в гетерогенній мережі з використанням Big Data та розробленого мобільного додатку



б) приклад управління ресурсами для забезпечення замовленого QoS

Рис. 8. Алгоритмічна реалізація розробленого методу

В умовах значного навантаження на мережу та недостачі ресурсів для надання послуг пріоритетним сесіям, непріоритетним активним сесіям може бути зведено до мінімуму надання послуг (непомітні втрати для сесії) шляхом переключення непріоритетної активної сесії на іншу технологію, наприклад з 4G на 3G за умови мінімальних втрат для сесії чи відкидання сесії з опрацюванням її пізніше.

Користувачі, які зробили замовлення послуги через мобільний QoE додаток, також вказують тривалість надання даної послуги. Цей параметр є важливою складовою правильного функціонування гетерогенної мережі, тому що на даний проміжок часу (t_i) потрібно аналізувати стан мережі та приймати рішення для забезпечення якості надання послуг. На рис. 8 б розглянуто один з варіантів функціонування гетерогенної мережі. Користувач зробив замовлення на надання послуг за заданими параметрами (вимогами). На рис. 8 б зображено параметр x_i , який відповідає за необхідний об'єм ресурсів для забезпечення замовлення користувача та тривалість дії даного замовлення (t_i). Кожний стовбчик на рис. 8 б відповідає за деяку технологію (2G, 3G, 4G), у певний момент часу кожна технологія має максимально допустимий об'єм ресурсів (y_{i1} , y_{i2} , y_{i3}) та різне навантаження на мережу відповідно.

У випадку, зображеному на рис. 8 б, можемо спостерігати, що необхідний об'єм ресурсів для користувача, який зробив замовлення, не відповідає використанню технології 2G, тому замовлення автоматично відкидається. Далі можемо спостерігати, що протягом замовленого проміжку часу надання послуг, дані постійно аналізуються та приймаються рішення щодо вимог даного замовлення. На певний період часу мережа не може надати пріоритетному користувачеві можливість використовувати технологію 4G, оскільки вона є перевантаженою, але в цей самий момент в процесі аналізу визначається, що користувачеві для надання необхідних ресурсів достатньо використати технологію 3G та у разі потреби, коли навантаження на мережу 4G знизиться, перемкнути користувача.

У випадку, якщо ресурсів мережі 3G не вистачає для надання послуги, система приймає рішення про переключення/відключення непріоритетних користувачів для зменшення завантаженості мережі 4G та надання необхідних ресурсів для пріоритетних користувачів. Система дає змогу надавати пріоритетним користувачам максимально допустиму кількість ресурсів за їхніми вимогами. При певних ситуаціях система аналізує дані та шукає ефективне рішення як для пріоритетних користувачів, так і для непріоритетних.

VI. Експериментальне дослідження ефективності використання запропонованого методу в гетерогенній IPvN мережі мобільного зв'язку

Для проведення експериментального дослідження ефективності функціонування розробленого методу, який надає послуги за замовленням користувача, згенеровано 1000 запитів з мобільного QoE додатку, які в подальшому обробляються *Big Data* (рис. 9). Відповідно, проаналізувавши базу даних *Big Data* у середовищі *Firestore*

Database, встановлено, що в один момент часу поступило 20 запитів з різними вимогами щодо замовленої якості обслуговування (рис. 10).

id	service_type	technology	capacity	latency	load	p_loss	time
769	call	4G	138.6	249	51.2	0.2	1:05:32 AM
42	conference	4G	148.9	93.6	53.2	0.6	10:12:42 AM
114	iptv	wifi	169.7	365.5	23.6	0.1	8:11:34 AM
690	conference	wifi	100.6	420.1	20.4	0.4	10:00:04 AM
893	internetd	3G	121.7	304.9	65.2	0.5	3:57:19 AM
53	web	4G	78.8	229.1	81.7	0.0	12:03:25 AM
987	call	2G	131.7	176.8	36.2	0.9	10:20:05 AM
878	call	2G	95.4	450	7.1	0.5	5:39:52 AM
110	web	wifi	157.3	297.5	96.8	0.4	3:10:20 AM
91	iptv	4G	60.1	304.1	33.3	1	5:35:25 AM
128	web	4G	60.1	304.1	33.3	1	5:35:25 AM
363	internetd	wifi	31.9	83.3	76.5	0.4	6:13:18 AM
251	internetd	4G	188	287.2	88.8	0.2	2:22:50 AM
744	internetd	4G	159.8	417	82.8	0.6	7:27:33 AM
819	conference	wifi	127.9	331.3	71.3	0.7	9:12:38 AM
310	internetd	4G	191.6	323.7	1.5	0	5:45:32 AM
247	internetd	4G	31.9	200.6	75.1	0.0	12:10:47 AM
849	call	4G	93.4	192.4	41.2	0.3	8:22:35 AM
247	call	2G	44.7	116	62.2	0.8	9:58:12 AM
796	internetd	wifi	53.1	438.1	41.3	0.7	1:48:06 AM
919	iptv	3G	56.5	385.4	47.9	0.8	10:47:54 AM
214	call	2G	119	177.4	93	0.5	1:40:00 AM
429	call	2G	429	286.7	95.9	0.5	11:58:29 AM
117	call	2G	18.9	96.7	57.7	0.1	1:16:58 AM
998	web	4G	70.4	325.7	15.9	0.8	11:00:09 AM
547	call	3G	133.5	135.5	91	0.2	2:45:07 AM
144	internetd	cloud_run	139.2	290.8	17.6	0.7	9:25:52 AM
948	internetd	3G	4.2	114	37.6	0.5	4:19:40 AM
718	call	2G	127.3	358.9	13.2	0.9	10:30:10 AM
567	internetd	wifi	105.2	304.1	71.3	0.5	5:31:17 AM
120	web	cloud_run	181.4	286.2	95.4	0.2	4:22:06 AM
504	internetd	wifi	135.3	137.6	71.3	0.5	2:28:45 AM
729	web	4G	140.8	397.3	88.3	0.3	9:40:12 AM
219	call	3G	54.6	81.7	30.5	0.6	9:10:04 AM
695	internetd	wifi	4.4	305.1	12.7	0.2	12:15:22 AM
475	conference	wifi	50.4	215.2	36.1	0.8	10:23:49 AM
140	conference	wifi	69.7	123.3	78.7	0.3	10:03:47 AM
308	internetd	4G	36	341.3	4.1	0.1	5:13:19 AM
782	web	3G	183.5	454.3	67.3	0.8	7:52:25 AM
860	iptv	3G	61.2	245.6	61.2	0.9	8:15:20 AM
483	internetd	3G	58.2	240.4	54.1	0.8	4:05:12 AM
55	web	cloud_run	70.1	139.1	12.5	0.8	2:48:13 AM
441	web	cloud_run	1.5	117.8	84.2	0.9	8:15:20 AM
779	iptv	4G	189.1	432.2	9	0.9	7:05:24 AM
976	internetd	cloud_run	195.7	163.9	42.6	0.8	6:05:49 AM
662	conference	4G	117.9	385.4	51.8	0.2	8:40:03 AM
255	call	4G	136.9	454.1	5.4	0.7	6:30:19 AM
331	web	cloud_run	134.2	465.9	30.7	0.1	2:23:46 AM
129	call	3G	129	348.8	56.3	0.2	8:15:15 AM
530	web	3G	188.4	238.3	64	0.7	11:39:28 AM

Рис. 9. Приклад 1000 згенерованих запитів у базі даних Firebase

technology	service_type	count
2G	call	199
3G	internetd	27
3G	conference	28
3G	call	31
3G	web	36
3G	iptv	32
3G	internetd	33
4G	conference	46
4G	iptv	31
4G	internetd	32
4G	internetd	42
4G	iptv	36
4G	web	30
cloud_run	iptv	41
cloud_run	internetd	36
cloud_run	web	38
cloud_run	conference	23
cloud_run	internetd	32
cloud_run	call	18
wifi	internetd	36
wifi	conference	41
wifi	iptv	36
wifi	call	38
wifi	call	34
wifi	internetd	40

а) експериментальні результати розробленої мобільної системи для аналізу великих даних: виведення максимально доступного та поточного ресурсу гетерогенної мережі

б) активні сеанси в години пік

Рис. 10. Приклад роботи розробленої мобільної системи для аналізу великих даних

Для порівняння ефективності використання запропонованого методу з традиційним [12] були взяті перші 20 запитів із бази даних. У роботі розглядається оцінка

QoE від 1 до 5, для забезпечення необхідної якості за даною шкалою безпроводові технології в гетерогенному середовищі повинні мати необхідні ресурси.

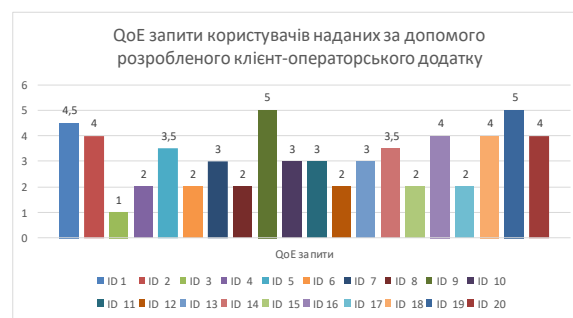
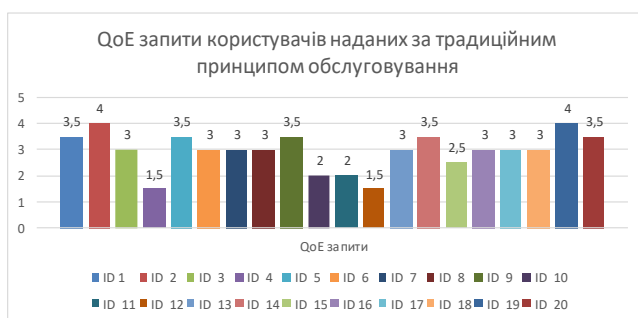
Якщо для запитуваної оцінки на послугу (x_i) в гетерогенному середовищі знайдеться необхідний ресурс, щоб задовольнити цю шкалу (y_i), то абонент автоматично перейде на обслуговування цієї технології.

Список запитів користувачів та їх оцінки QoE: ID 1 (QoE=4,5), ID 2 (QoE=5), ID 3 (QoE=1), ID 4 (QoE=2), ID 5 (QoE=4), ID 6 (QoE=2), ID 7 (QoE=3), ID 8 (QoE=2), ID 9 (QoE=5), ID 10 (QoE=3), ID 11 (QoE=3), ID 12 (QoE=2), ID 13 (QoE=3), ID 14 (QoE=4), ID 15 (QoE=2), ID 16 (QoE=4), ID 17 (QoE=2), ID 18 (QoE=4), ID 19 (QoE=5), ID 20 (QoE=4) показано на рис. 11.



Рис. 11. Вибірка QoE запитів користувачів з бази даних Firebase Database

Список ресурсів, які може надати мережа з використанням традиційного підходу, що наводиться у роботі [12] (QoE=3,5), показано на рис. 12 а. Список ресурсів, які може надати конкретна безпроводова мережа з використанням підходу, який базується на запропонованому методі, що аналізує параметри користувача по запитах, показано на рис. 12 б.



а) без використання розробленого мобільного додатку

б) з використанням розробленого мобільного додатку

Рис. 12. Аналіз можливостей надання QoE запитів користувачів

Розглянемо перший випадок з запитом ID 1. Користувач подав запит на надання послуг з QoE=4,5. При традиційному підході мережа 4G змогла надати користувачеві тільки QoE=3,5, оскільки у даний момент часу це відповідало вільному ресурсу мережі.

При використанні запропонованого методу мережа була проаналізована із використанням технології Big Data. Відповідно системою автоматично проведено пошук альтернативної радіо технології 3G безпроводового зв'язку з необхідними ресурсами для задоволення необхідного $QoE=4,5$, як показано на рис. 13.

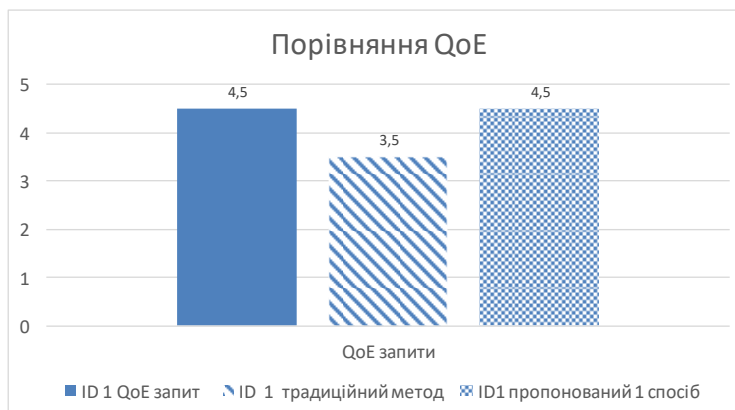


Рис. 13. Порівняння можливостей надання QoE запиту користувача ID 1 за першим способом управління ресурсами

У другому випадку розглядався запит ID 4. Користувач подав запит на надання послуг з $QoE=2$. При традиційному підході мережа змогла надати користувачеві тільки $QoE=1,5$. При використанні запропонованого методу проведено аналіз наданих ресурсів для активних сесій (які обслуговуються за стандартним рішенням та відносяться до неперіоритетних користувачів) поточної технології та мінімізацію ресурсів до надання допустимого значення якості. В результаті проведеного аналізу системою Big Data можемо спостерігати, що традиційний підхід не має можливості щодо оптимізації розділення ресурсів та інколи надає надлишкову кількість ресурсів користувачам, коли інші користувачі потребують даних ресурсів. У випадку використання розробленого методу надлишкові ресурси розподіляються іншим користувачам, в першу чергу для пріоритетних, тобто запит ID 4 отримує замовлений рівень $QoE=2$ (рис. 14).

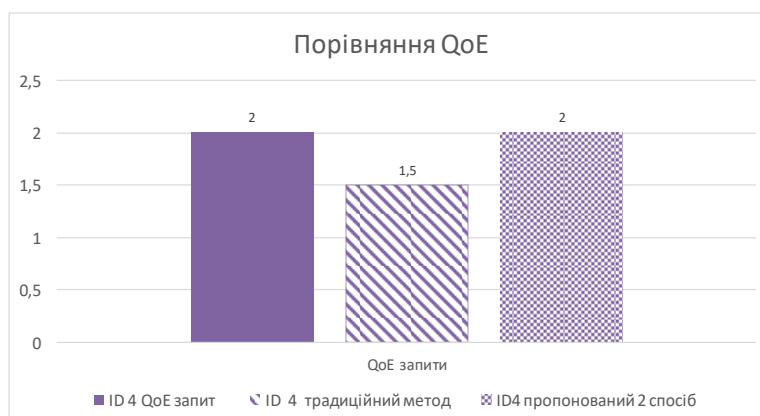


Рис. 14. Аналіз можливостей надання QoE запитів користувачів з використанням розробленого мобільного додатку

У третьому випадку розглядався запит ID 9. Користувач подав запит на надання послуг з QoE=5. При традиційному підході мережа змогла надати користувачеві тільки QoE=3,5. При використанні запропонованого підходу системою автоматично проведено переключення неперіоритетних користувачів на альтернативні технології, для яких плавно забезпечиться отримана якість аналогічно до наданої в поточній радіотехнології з метою вивільнення ресурсів поточної технології для пріоритетних користувачів, що використовують запропонований додаток, з можливістю замовлення бажаної послуги з відповідним рівнем якості сприйняття. Запит ID 9 з QoE=5 після вивільнення ресурсів є успішно наданим (рис. 15).

У четвертому випадку розглянемо запит ID 18. Користувач подав запит на надання послуг з QoE=4. При традиційному підході мережа змогла надати користувачеві тільки QoE=3. При використанні підходу, який керується даним методом, проведено тимчасове відключення неперіоритетних користувачів, які використовують значну кількість ресурсів поточної технології, з метою вивільнення ресурсів для пріоритетних користувачів, що використовують запропонований додаток з можливістю замовлення бажаної послуги з відповідним рівнем якості сприйняття. Запит ID 18 з QoE=4 після вивільнення ресурсів є успішно наданий, що показано на рис. 16.

Таким чином, трьом користувачам не було надано бажаної якості надання послуг, оскільки з певних причин ні один з чотирьох підходів не міг бути виконаний.



Рис. 15. Аналіз можливостей надання QoE запитам користувачів з використанням розробленого мобільного додатку

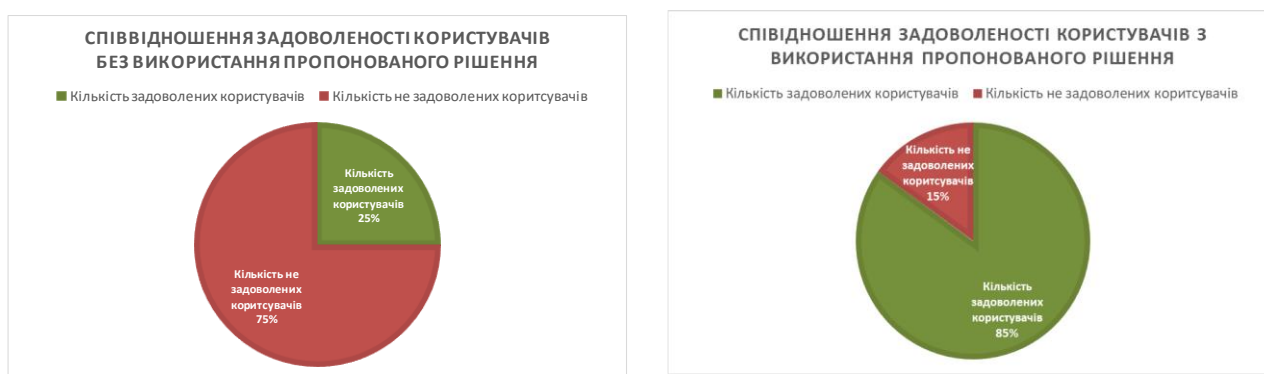
Отже, відповідно до отриманих запитів від користувачів, застосовуючи традиційний підхід, мережа змогла задовольнити 5 з 20 користувачів, тобто 25%.



Рис. 16. Аналіз можливостей надання QoE запитам користувачів з використанням розробленого мобільного додатку

У випадку використання підходу, що базується на даному методі, який аналізує запити (QoE наміри) користувачів, мережа змогла задовольнити 17 з 20 користувачів, тобто 85%. На рис. 17 а показано співвідношення задоволеності користувачів без використання запропонованого рішення (без розробленого методу та мобільного QoE додатку). На рис. 17 б показано співвідношення задоволеності користувачів з використанням запропонованого рішення (з розробленим методом і мобільним QoE додатком).

Важливим критерієм для якісного надання послуг мережі користувачам є оптимізація ресурсів мережі, тому що при традиційному підході [12] мережа різко знижувала QoE користувача внаслідок зростання завантаженості та недостатнього об'єму вільних ресурсів. У випадку використання запропонованого методу у мережі проаналізовано всі активні сесії. Тому при використанні описаних підходів неперіоритетним користувачам надається допустиме значення замовленої якості обслуговування. Запропонований клієнт-операторський додаток дасть змогу оператору з використанням Big Data проаналізувати вимоги користувача щодо замовленої якості обслуговування з метою створення майбутньої IBN мережі.



а) без використання розробленого мобільного додатку

б) з використанням розробленого мобільного додатку

Рис. 17. Співвідношення задоволеності користувачів

Висновки

У роботі запропоновано концептуальну модель побудови гетерогенної інтенційно-орієнтованої мережі, яка дає змогу забезпечити ефективний розподіл і перерозподіл загальних ресурсів адаптуючись під мінливі вимоги бізнес-користувачів щодо якості надання сервісів. Розроблено прототип мобільного та операторського QoE додатку для адаптивного управління ресурсами та якістю надання послуг у майбутній інтенційно-орієнтованій гетерогенній мережі, що дає змогу клієнту отримувати замовлену якість обслуговування за відповідну ціну сервісу.

Також запропоновано метод адаптивного клієнт-орієнтованого надання послуг у безпроводовій гетерогенній мережі, що базується на інтелектуальному виборі мережі радіодоступу, використовуючи технологію Big Data та розроблений QoE мобільний додаток. Розроблений метод, на відміну від відомих, враховує та аналізує оцінки замовленої якості сприйняття послуги в процесі розподілу мережних ресурсів та дає змогу покращити якість обслуговування послуг на вимогу в умовах високого навантаження на мережу, збільшуючи прибуток оператора.

Проведено оцінку ефективності запропонованого методу та досліджено рівень якості сприйняття послуг у модельованій гетерогенній мережі. Доведено, що використання запропонованого методу дає змогу зменшити кількість незадоволених користувачів якістю обслуговування в гетерогенній безпроводовій мережі до 60%. Результати досліджень включають в себе імітаційні моделі, реальні прототипи, а також тести, які можуть бути використані для розвитку майбутніх інтенційно-орієнтованих мереж.

Список літератури:

1. Chabbouh, O., Ben Rejeb, S., Nasser, N., Agoulmine, N., Choukair, Z. (2020), "Novel Cloud-RRH Architecture With Radio Resource Management and QoS Strategies for 5G HetNets", IEEE Access, No. 8, P. 164815-164832. DOI: <https://www.doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021948>
2. Shayea, I., Hadri Azmi, M., Abd. Rahman, T., Ergen, M., Tien Han, C., Arsad, A. (2019), "Spectrum Gap Analysis With Practical Solutions for Future Mobile Data Traffic Growth in Malaysia," IEEE Access, No. 7, P. 24910-24933. DOI: <https://www.doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2890302>
3. Papa, A., Durner, R., Goratti, L., Rasheed, T., Kellerer, W. (2020), "Controlling Next-Generation Software-Defined RANs", IEEE Communications Magazine, No. 58(7), P. 58-64. DOI: <https://www.doi.org/10.1109/MCOM.001.1900732>
4. Beshley, M., Kryvinska, N., Seliuchenko, M., Beshley, H., Shakshuki, E.M., Yasar, A.-U.-H. (2020), "End-to-End QoS "Smart Queue" Management Algorithms and Traffic Prioritization Mechanisms for Narrow-Band Internet of Things Services in 4G/5G Networks", Sensors, No. 20, p.2324. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20082324>
5. Bai, W., Xiao, Y., Hu, D., Zhang, Y. (2019), "Application Research of Multi-Mode Relay in Future Heterogeneous Networks", Applied Sciences, No. 9(18), p.3934. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9183934>

6. Yu, G., Jiang, Y., Xu, L., Li, G. Y. (2015), "Multi-Objective Energy-Efficient Resource Allocation for Multi-RAT Heterogeneous Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, No. 33(10), P. 2118-2127. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSAC.2015.2435374>
7. Masiuk, A., Klymash, M., Beshley, M., Demydov, I., Panchenko, O. (2018), "The method of adaptive selection of a wireless access network in a heterogeneous environment based on the theory of fuzzy sets", *Internet of Things (IoT) and Engineering Applications*, No. 3, P. 11-22. DOI: <https://doi.org/10.23977/iotea.2017.31002>
8. Shao, G., Wu, W., Yin, L., Ding, C. (2019), "A Load Balancing Vertical Handoff Algorithm Considering QoS of Users for Heterogeneous Networks in Power Communication", *Journal of Physics: Conference Series*, No. 1302(2), p.022099. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1302/2/022099>
9. Saeed M., Kamal H., El-Ghoneimy M. (2017), "Novel type-2 fuzzy logic technique for handover problems in a heterogeneous network", *Engineering Optimization*, No. 50(9), P. 1533-1543. DOI: <https://doi.org/10.1080/0305215X.2017.1402012>
10. Alhabo, M., Zhang, L. (2018), "Multi-Criteria Handover Using Modified Weighted TOPSIS Methods for Heterogeneous Networks", *IEEE Access*, No. 6, P. 40547-40558. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2846045>
11. Bazzi, A., Masini, B., Zanella, A., Dardari, D. (2017), "Performance evaluation of softer vertical handovers in multiuser heterogeneous wireless networks", *Wireless Networks*, No. 23, P. 159-176. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11276-015-1140-8>
12. Duong, T., Kwon, S. (2020), "Vertical Handover Analysis for Randomly Deployed Small Cells in Heterogeneous Networks", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, No. 19(4), P. 2282-2292. DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2019.2963829>
13. López Rodríguez, F., Silva Dias, U., Campelo, D.R., Oliveira Albuquerque, R.D., Lim, S.-J.; García Villalba, L.J. (2019) "QoS Management and Flexible Traffic Detection Architecture for 5G Mobile Networks", *Sensors*, No. 19, p.1335. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19061335>
14. Barakabitze, A.A., Barman, N., Ahmad, A., Zadtootaghaj, S., Sun, L., Martini, M.G., Atzori, L. (2020), "QoE Management of Multimedia Streaming Services in Future Networks: A Tutorial and Survey", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, No. 22(1), P. 526-565. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2958784>
15. Hewage, C., Ekmekcioglu, E. (2020), "Multimedia Quality of Experience (QoE): Current Status and Future Direction", *Future Internet*, No. 12, p.121. DOI: <https://doi.org/10.3390/fi12070121>
16. Bouraqia, K., Sabir, E., Sadik, M., Ladid, L. (2020), "Quality of Experience for Streaming Services: Measurements, Challenges and Insights", *IEEE Access*, No. 8, P. 13341-13361. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965099>
17. Zhang, J., Ansari, N. (2011), "On Assuring End-to-End QoE in Next Generation Networks: Challenges and a Possible Solution", *IEEE Communications Magazine*, No. 49(7), P. 185-191. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2011.5936172>
18. Beshley, M., Vesely, P., Pryslupskyi, A., Beshley, H., Kyryk, M., Romanchuk, V., Kahalo, I. (2020), "Customer-Oriented Quality of Service Management Method for the Future Intent-Based Networking", *Applied Sciences*, No. 10(22), p.8223. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10228223>