

А. Р. Масюк, І. Б. Стрихалюк, М. В. Брич,  
І. О. Кагало, Г. В. Бешлей  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра телекомунікації

## АЛГОРИТМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРУ В ГЕТЕРОГЕННІЙ МОБІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

© Масюк А. Р., Стрихалюк І. Б., Брич М. В., Кагало І. О., Бешлей Г. В., 2018

Розроблено інтелектуальний алгоритм вертикального хендвера в гетерогенних мобільних мережах з використанням нечіткої логіки для обробки параметрів і прийняття рішення про міжсистемне перемикання на основі хмарних обчислень. Такий алгоритм дасть змогу ефективно використовувати ресурси операторів і надавати послуги з кращою якістю (з більшою пропускнуою здатністю і покриттям мережі). Отримані в роботі теоретичні та прикладні результати можна використати для забезпечення глобального доступу та безшовної мобільності між гетерогенними мережами безпроводного доступу, а також дати користувачеві змогу використовувати один мобільний пристрій у різних типах мереж. Розроблено модель гетерогенної мережі для дослідження запропонованого алгоритму вертикального хендвера.

Ключові слова: якість обслуговування, гетерогенна мережа, нечітка логіка, вертикальний хендвер.

A. R. Masiuk, I. B. Strykhalyuk, M. V. Brych,  
I. O. Kahalo, H. V. Beshley  
Lviv Polytechnic National University,  
Department of Telecommunications

## INTELLECTUAL VERTICAL HANDOVER ALGORITHM IN HETEROGENEOUS MOBILE NETWORK BASED ON CLOUD TECHNOLOGY

© Masiuk A. R., Strykhalyuk I. B., Brych M. V., Kahalo I. O., Beshley H. V., 2018

In this work has been increased quality of service in mobile systems based on efficient network and radio utilization of resources of heterogeneous network and optimal procedure of intellectual vertical handover based on cloud technology and fuzzy logic. Thus a novel network selection mechanism using intelligent agents has been proposed, which select the best network based on QoS parameters uses theory of fuzzy sets. In order to solve the task of initiation and performing of handover, in this work is proposed a centralized method of handover management based on cloud technologies using fuzzy logic. For handover performing it is proposed to use parallel computation principles based on cluster of servers. For realization of such system on cluster of servers it is installed a special software that performs all necessary processes. For investigation of functioning of real heterogeneous wireless network under conditions of high user mobility the simulation model has been created. Subscriber in simulation model is presented as an object with a set of parameters such as duration of activity, motion vector, speed, current location, distance to all base stations, signal strength of all base stations and additional options needed for the model. The optimal cell of

**heterogeneous network has been determined based on evaluation of access node characteristics using fuzzy logic.**

**Key words: QoS, heterogeneous network, fuzzy logic, vertical handover.**

### Вступ

Різноманітність технологій радіодоступу і збільшення кількості мультистандартних абонентських пристроїв дасть змогу інтегрувати різні технології в єдину мережу, тобто сформувати гетерогенну (неоднорідну) безпроводну мережу (рис. 1, а). Така мережа складатиметься з сегментів різних технологій радіодоступу, зони покриття яких накладаються [1–4]. Це дасть змогу збільшити пропускну здатність мережі та розширити зону її покриття, а для мобільних пристроїв – надавати зв’язок за нижчою ціною і з високою якістю. Всі мобільні пристрої працюють за безпроводними мобільними технологіями, і забезпечення ефективним безперебійним зв’язком усіх мобільних пристроїв є актуальною проблемою для багатьох країн.

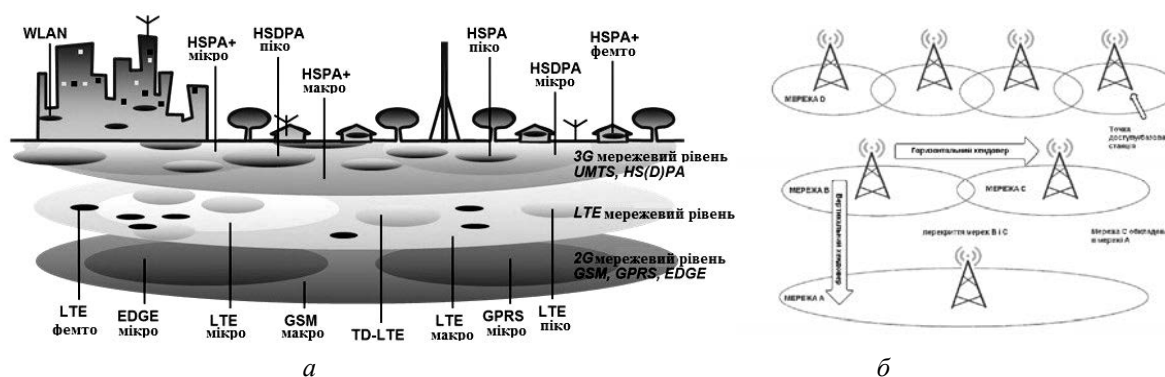


Рис. 1. Архітектура гетерогенної мережі (HetNet)(а) та вертикальний і горизонтальний хендовер (б)

Однією з проблем для оперативних служб і сервісних компанії є безмежна мобільність. Забезпечення безмежної мобільності дає можливість вирішення багатьох комунікаційних проблем. Однак досягти такого високого рівня сервісу заважають невирішені проблеми. Одним із складних питань у мультисервісних безпроводних мережах нового покоління (NGWN – next generation wireless network) є розроблення інтелектуальних і оптимальних алгоритмів вертикального передавання обслуговування для оптимального вибору мережі серед усіх доступних мереж для МП (мобільного пристрою).

В умовах гетерогенної безпроводної мережі актуальним завданням є забезпечення прозорого переміщення абонента (МП), що реалізується за рахунок процедури передавання управління з’єднання від однієї точки доступу (ТД) або базової станції (БС) до іншої, або хендовера. Хендовер між сусідніми точками доступу мережі однієї технології називається горизонтальним, хендовер між різними типами мереж називається вертикальним (рис. 1, б).

Традиційний механізм горизонтального хендовера ґрунтується на оцінці потужності приймального сигналу (Received Signal Strength – RSS): хендовер запускається, коли рівень RSS обслуговуючої базової станції стає нижчим за встановлене порогове значення. Однак у гетерогенному мережевому середовищі параметри різних типів мереж знаходяться в різних межах, а RSS не є достатнім критерієм для ефективного інтелектуального хендовера, оскільки для мультисервісного трафіку необхідно враховувати також параметри якості обслуговування в мережі, пріоритети користувачів, вимоги додатків і т.д. Саме тому виникає завдання розроблення такого критерію і алгоритму, який би враховував максимальну кількість параметрів, також умови факторів середовища і тим самим давав змогу здійснювати інтелектуальний хендовер. Тому ця робота є актуальною та своєчасною [5–8].

## Алгоритм інтелектуального хендоверу в гетерогенній мережі на основі хмарних технологій

Розвиток технологій виготовлення мобільних пристроїв дав можливість створення таких пристроїв, які можуть паралельно спілкуватися з декількома безпроводними системами обслуговування. Інтеграція та конвергенція мереж на основі IP-протоколу дали змогу реалізувати комунікацію між системами доступу різних технологій. Основною проблемою за наявності декількох систем доступу та можливості їх одночасного використання для обслуговування користувача є відсутність оптимальних алгоритмів здійснення перемикання між ними, тобто здійснення вертикального хендоверу.

Для вирішення завдання ініціації та здійснення хендоверу в цій роботі пропонується централізований метод керування процесом хендоверу на основі хмарних технологій з використанням міжсистемних інтерфейсів до засобів управління системами доступу на основі технології веб-сервісів. Для здійснення хендоверу пропонується використовувати принципи паралельних обчислень на основі кластеру серверів. Такий кластер може встановити кожний оператор для себе, інтегрувавши його у власну інфраструктуру. Як варіант оператор може використати сервісні моделі клауд-систем та, розробивши власне програмне забезпечення, використовувати обчислювальні потужності як сервіс у клауд-провайдерів для розгортання власного програмного забезпечення. Це дасть йому змогу значно знизити капітальні витрати. Такий підхід продиктований тим, що для прийняття рішення про здійснення хендоверу та вибору конкретної системи доступу як кандидата для перемикання необхідно, використовуючи математичні методи прогнозування та вибору, провести великий обсяг обчислень, що може зайняти велику кількість часу. Зрозуміло, що в умовах мобільності абонентів час є критичним фактором, оскільки при великих швидкостях пересування та передавання мультимедійного трафіка реального часу, тривале обчислення критеріїв здійснення хендоверу може призвести до банального розриву сесії та складностей у подальшому її відновленні. Використання можливостей хмарних технологій дасть змогу провести ці обчислення в лічені мілісекунди та забезпечити оптимальний вибір системи доступу для перемикання. Отже, запропоновано структурну схему системи здійснення інтелектуального вертикального хендоверу в NGWN (рис.2).

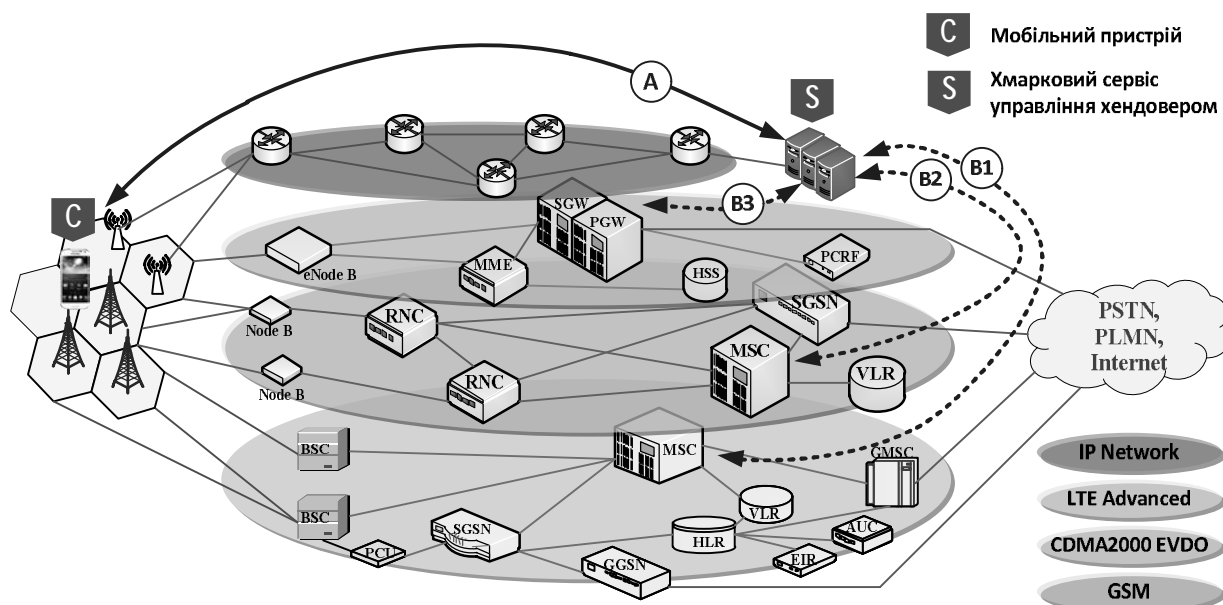


Рис. 2. Структурна схема здійснення централізованого інтелектуального вертикального хендоверу в гетерогенній мобільній мережі

Для реалізації такої системи на кластері серверів встановлено програмне забезпечення, для здійснення хендоверу. Враховуючи описані вимоги до функціональності програмного забезпечення

для здійснення інтелектуального вертикального хендверу, запропоновано алгоритм роботи цього програмного забезпечення, зображений на рис. 3. Пропонований алгоритм містить три основні компоненти (рис. 3): збирання даних, нормалізація даних і прийняття рішення про перемикання. До завдання цього дослідження входить не лише балансування навантаження між БС різних типів, але і підвищення якості обслуговування клієнтів інтернет-провайдерами та операторами стільникового зв'язку.

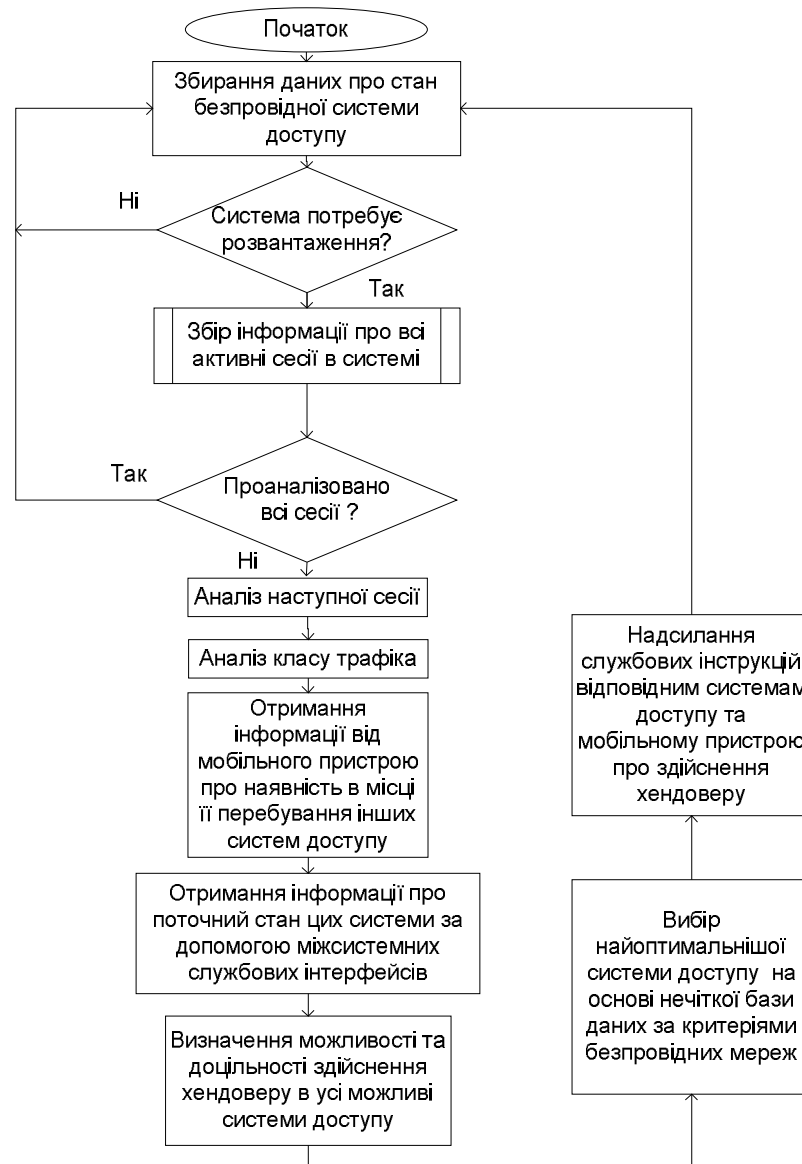


Рис. 3. Алгоритм роботи централізованого інтелектуального вертикального хендверу

На першому етапі збирають інформацію, необхідну для нормалізації даних та подальшого прийняття рішення. На цьому етапі збирається системне навантаження кандидата на перемикання, швидкість МП і рівень сигналу, пріоритет та якість сервісу між БС/ТД і МП.

У вертикальних передачах обслуговування багато мережевих характеристик впливають на те, чи відбудеться передавання обслуговування чи ні. Традиційні метрики рішення передавання обслуговування на основі індикації прийнятої потужності сигналу (RSSI) та інших параметрів фізичного рівня, використовуваних для горизонтального передавання обслуговування в мобільних мережах, є недостатніми для ініціації хендверу в гетерогенних безпроводних системах нового покоління. Критерій RSS (Received Signal Strength) потужності приймального сигналу не можна

використаний для вирішення вертикальної передачі обслуговування, оскільки RSS з різних мереж не можуть бути зіставлені безпосередньо у зв'язку з різними характеристиками накладення гетерогенних безпроводних мереж. Для того, щоб виконати інтелектуальні рішення передавання обслуговування в гетерогенному середовищі NGWN і забезпечити безперерйну вертикальну передачу обслуговування, пропонується використати показники сформовані, на рис. 4:



Рис. 4. Схема метрики для запуску вертикального хендовера

Створення такого інтелектуального алгоритму вертикального прийняття/передачі обслуговування є доволі складним завданням через складність ланцюга передавання обслуговування, прийняття метрик, модульності рішення передачі обслуговування, інформаційної неточності, а також інтерпретованих питань. У цій роботі пропонується нечітка логіка як ефективний засіб для вирішення цих завдань, також описано хід рішення і логічний висновок. Система з нечіткою логікою складається з трьох частин: нормалізація вхідних параметрів, нечітка база знань і нормалізовані вихідні параметри. Як неповний метод представлення знань нечітка логіка добре підходить для вирішення питань неточності.

Нечітка система виводу (FIS), або нечітка логіка системи, є нелінійним відображенням вектора вхідних даних у скалярному виході. Це є основою обчислення за поняттями теорії нечітких множин та нечіткої логіки. Є два типи систем нечіткого виводу, які можуть бути реалізовані, – це Мамдано та Сугено типу. Системи нечіткого виводу було успішно застосовано в таких областях, як автоматичний контроль, класифікація даних, аналіз рішень і експертних систем.

Нечітка логіка – багатозначна логіка, яка оперує приблизними міркуванням. Це дає логічній (Boolean) або двозначній логіці важливу можливість – приймати рішення, володіючи недосконалою інформацією, тобто інформацією, яка в одному або в декількох аспектах може бути неточною, невизначеною, неповною, недостовірною або частково достовірною. Нечітка логіка складається з нечітких множин, і операції з нечітких множин використовуються, щоб зробити висновки за нечіткою логікою.

Термінал управління і вертикальний алгоритм естафетної передачі наступного покоління повинні відповідати ьаким вимогам :

– Безшовний доступ в NGWN. МП потрібно буде переходити з однієї інтегрованої мережі доступу на іншу плавно і прозоро, без ризику порушення з'єднання. Отже, наступне покоління VHDA (Vertical Handoff Decision Algorithm) має підтримувати ефективний і прозорий роумінг МП серед безлічі безпроводних мереж.

– Високе завантаження мережі. Інтеграцію гетерогенних безпроводних мереж доступу розроблено, щоб запропонувати вищий ступінь використання смуги пропускання для особливо вимогливих додатків за якістю обслуговування (QoS) і поліпшення системних характеристик.

– Мультисервіс. Наступне покоління безпроводних мереж підтримуватиме кілька класів послуг, таких як голос, відео, потокове відео, перегляд веб-сторінок. Підтримка декількох послуг у

NGWN підвищить задоволеність користувачів, оскільки різні користувачі мають різні вимоги до обслуговування. Тому VHDA має підтримувати безліч послуг [9].

– Вимоги до якості обслуговування. Безпроводні системи наступного покоління складатимуться з різних технологій доступу з різними параметрами, пов'язані між собою за загальним IP - ядром. Ці програми матимуть різні вимоги. Вертикальний алгоритм естафетного передавання нового покоління має забезпечити належний QoS, зокрема високу пропускну здатність, мінімальну швидкість втрати пакетів, мінімальну затримку передавання обслуговування, високу надійність і мінімальні затрати на обслуговування в гетерогенному мобільному обчислювальному середовищі.

*Нечітка нормалізація.* У запропонованій системі розглядаються мережі 3G, Wi-Fi і LTE. Рішення про гетерогенне перемикавання визначатиметься завантаженням БС, рівнем сигналу і швидкістю МП та QoS параметрами. Після отримання необхідних параметрів для їх подальшої нормалізації необхідно визначити відповідні нечіткі множини. Відповідно до характеру різних безпроводних технологій можна визначити нечітку множину різних технологій бездротової мережі відповідною функцією належності.

Розглянемо ситуацію, коли МП рухається із зони покриття однієї БС стандарту LTE до зони покриття іншої БС стандарту 3G зі швидкістю 13 км/год. Водночас МП потрапляє до зони покриття БС стандарту Wi-Fi. Мобільний вузол не може визначити цільову БС простим порівнянням рівнів сигналів або швидкостей. Якщо МП переключиться на БС стандарту 3G після простого порівняння рівнів сигналу, то переключення може відбутися, але якщо МП переключиться на БС стандарту Wi-Fi, підключення обов'язково розірветься через відносно високу для стандарту Wi-Fi швидкість МП.

Нормалізація в цьому прикладі покаже, що швидкість до 13 км/год для стандарту Wi-Fi є надто високою, а для стандарту 3G-низькою. Отже, МП вибере БС стандарту 3G з вищим рейтингом порівняно з БС стандарту Wi-Fi.

*Нечітка база знань і механізм прийняття рішення.* Після процедури нормалізації всі параметри переводяться в лінгвістичні змінні, які можна порівняти безпосередньо, оскільки параметри будуть приведені до єдиної бази порівняння. Модуль прийняття рішення просто обробляє параметри безпроводної мережі, безпосередньо порівнюючи їх за допомогою нечіткої бази знань для виведення оптимального рішення. Механізм логічного виведення ґрунтується на нечітких правилах, перерахованих у таблиці. Приклад за нечіткою базою знань показано в таблиці.

#### База знань

| Завантаження | Рівень сигналу | Швидкість | Рейтинг мережі |
|--------------|----------------|-----------|----------------|
| Низьке       | Низький        | Низька    | 1              |
| Низьке       | Високий        | Висока    | 1              |
| Високе       | Середній       | Середня   | 2              |
| Високе       | Середній       | Низька    | 3              |
| Високе       | Високий        | Середня   | 3              |
| Високе       | Високий        | Низька    | 4              |
| Середнє      | Середній       | Середня   | 3              |
| Середнє      | Середній       | Низька    | 4              |
| Низьке       | Середній       | Низька    | 5              |
| Низьке       | Високий        | Середня   | 5              |
| Низьке       | Високий        | Низька    | 6              |

Після цього оцінюється рівень сигналу, швидкість і завантаженість для кожної БС. Кожен параметр має підмножини високих середніх і низьких значень. Кількість правил нечіткої бази знань розраховують за формулою  $x^m = 27$  правил, де  $x$  – кількість лінгвістичних змінних;  $m$  – кількість параметрів. На цьому етапі можна зменшити кількість правил до 14, виникає можливість фільтрації завідомо не придатних для використання БС кандидатів. У цьому випадку для МП з високою швидкістю і низьким рівнем сигналу два додаткові параметри повинні бути високої якості.

Потім для цієї бази знань на основі експертного оцінювання параметрів визначається рейтинг мережі. У нашому випадку для кожного параметра задається рейтинг від 0 до 2. Параметр високої якості – 2 бали, середньої – 1 бал і низької якості – 0 балів. Потім за сумою балів за всіма трьома параметрами визначають підсумковий рейтинг мережі. Отже, низьке завантаження, високий рівень сигналу і низька швидкість руху є параметрами високої якості -  $2 + 2 + 2 = 6$  балів. На наступному етапі зібрані дані нормалізуються, і отримуються лінгвістичні змінні. На кінцевому етапі отримані параметри використовують для визначення рейтингу мережі на основі нечіткої бази даних за безпроводними мережами. Для цього в роботі використовують MATLAB Fuzzy Logic Toolbox.

### Модель емуляції роботи гетерогенної системи мобільного зв'язку

Використовуючи програмну реалізацію імітаційної моделі, можна реалізувати не тільки всі необхідні функції моделювання, а й забезпечити належний контроль за цим процесом. Програмне забезпечення дає змогу використовувати графічний користувацький інтерфейс, динамічно змінювати параметри моделі і оцінювати поведінку системи в конкретній ситуації, що може виникнути в реальній сервісній мережній платформі. Крім того, програмне забезпечення за допомогою графічного інтерфейсу дає змогу в режимі реального часу спостерігати за усіма параметрами моделі, що може виконуватись із використанням графіків, діаграм, списків і таблиць.

Для дослідження процесів функціонування мобільної мережної системи з високим рівнем мобільності користувачів необхідно розробити імітаційну модель з використанням великої кількості параметрів і характеристик, які дадуть змогу описати існуючі мережні технології, використовуючи, відповідно, математичні, прогностичні й оптимізаційні моделі. Тобто, в роботі розроблено модель гетерогенної мережної платформи безпроводного доступу. Її структуру зображено на рис. 5.

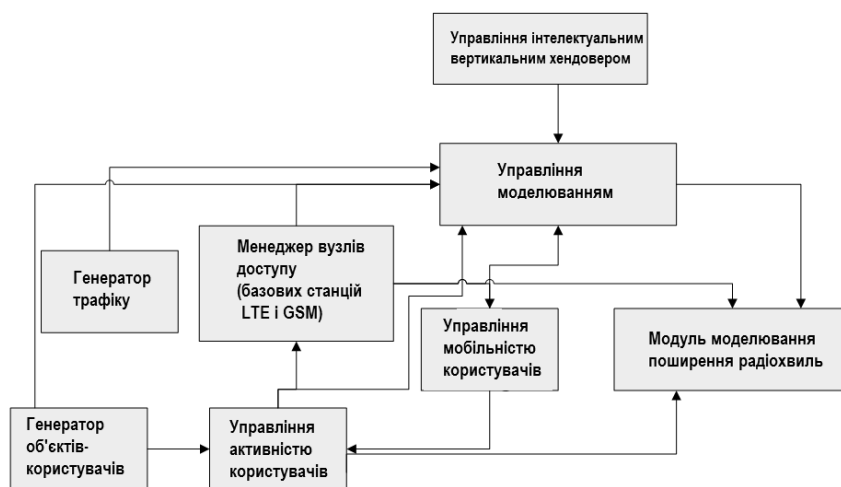


Рис. 5. Структурна схема імітаційної моделі гетерогенної мережної платформи безпроводного доступу

Імітаційна модель містить блок моделювання поведінки користувачів, який генерує трафік. Сформовані об'єкти-користувачі передаються “менеджеру користувачів”. Якщо користувач тільки реєструється в мережі і не має активних сесій, то його буде зазначено в графічному інтерфейсі моделі як жирну сіру точку. Якщо користувач має активне з'єднання з мережею, то він позначається кольоровою точкою залежно від того, до якої мережної системи він під'єднаний: GSM – зелений колір; LTE – синій колір; UMTS – розовий колір. Користувач у такій моделі представлений як об'єкт набором таких параметрів: тривалість активності, вектор руху, швидкість руху, місце перебування, відстань до базових станцій (мережних вузлів доступу), рівень сигналу від кожної базової станції LTE, UMTS і GSM (RSS) та інших додаткових параметрів, необхідних для функціонування моделі.

Швидкість переміщення користувача визначають за формулою:

$$V_{SPEED} = \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{\Delta t} \quad (1)$$

Було запропоновано класифікувати швидкість користувачів для того, щоб записати зміни рівня сигналу базової станції під час спостереження і прогнозувати необхідність передавання обслуговування в іншу комірку за результатами прогнозування ймовірності напрямків руху користувачів.

У цій роботі розроблено оригінальне програмне забезпечення, яке дає змогу встановлювати довільний закон розподілу руху користувачів із різними швидкостями. Координати і параметри користувачів зберігаються в системі моніторингу та представляються відповідними масивами даних. Основні масиви даних моделі: координатний (x, y), швидкості переміщення ( $V_{SPEED}$ , м/с), рівень прийнятого сигналу RSS від сусідніх мережних вузлів доступу (базових станцій).

Дані до цього масиву записуються щосекунди. Модуль управління активністю користувачів являє собою масив, який зберігає призначені для користувача об'єкти і здійснює моніторинг діяльності кожного зареєстрованого в системі користувача. Якщо тривалість зберігання призначеного для користувача об'єкта в масиві вища, ніж середня тривалість сесії, яку було встановлено за допомогою генератора трафіка при створенні об'єкта користувача, то вважають, що користувач закінчив сесію, і його об'єкт видаляється з масиву. Іншим важливим елементом моделі є блок, який відповідає за реалізацію математичної моделі поширення радіохвиль. Блок може інтегрувати будь-яку модель, тобто, є універсальним і дає змогу моделювати поведінку для різних систем безпроводного доступу з різними інтерфейсами радіозв'язку і у різних обставинах. Алгоритм цього блоку моніторить розташування користувачів і їх переміщення, на підставі чого він обчислює рівні загасання сигналів від усіх базових станцій. Своєю чергою, базова станція, яка також описується як об'єкт, має свої власні параметри, такі як: висота розташування антен, потужність випромінювання сигналу, робоча частота, кількість антен тощо.

Важливе значення для проведення досліджень, описаних у цій роботі, має блок, який відповідає за переміщення користувачів. Він використовує інтерфейс менеджера користувачів і відповідно до закону розподілу броунівського руху змінює координати користувача з різними інтервалами і кількостями кроків, забезпечуючи так моделювання руху користувачів. Відповідно, блок поширення радіохвиль на кожному новому кроці моделювання обчислює загасання сигналу для користувача в новому розташуванні. Варто зазначити, що є такі користувачі, які не переміщуються.

Для розроблення такого програмного забезпечення в цій роботі використано мову програмування C++, базуючись на середовищі розроблення Borland Builder C++ 6.0. Головне вікно програми, що реалізує моделювання відповідно до створеної імітаційної моделі, показано на рис. 6. Інтерфейс містить компонент для відображення використання трьох базових станцій типу GSM, UMTS і трьох базових станцій типу LTE.

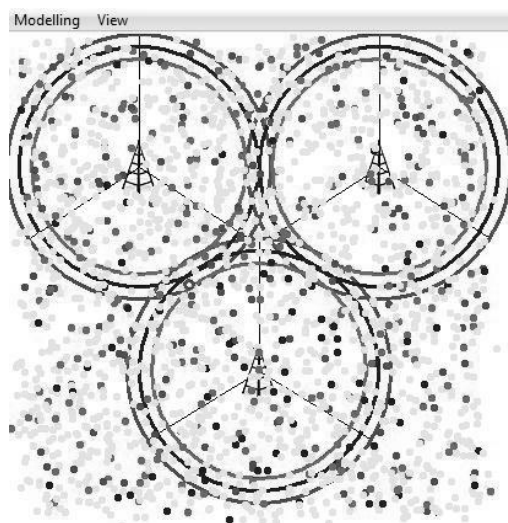


Рис. 6. Активність абонентів в імітаційній моделі гетерогенної мережі



Для кожної базової станції є графік у програмному інтерфейсі, який відображає зареєстрованих і активних користувачів. Для того, щоб порівняти продуктивність системи без інтелектуального вертикального хендвера і з ним, до програмної моделі додано можливість відключення цього алгоритму.

Отже, теорія нечітких множин кількісно демонструє різницю між якісно однорідними рішеннями оптимізаційної задачі розподілу конвергованих ресурсів мережозалежних рівнів гетерогенної мережі.

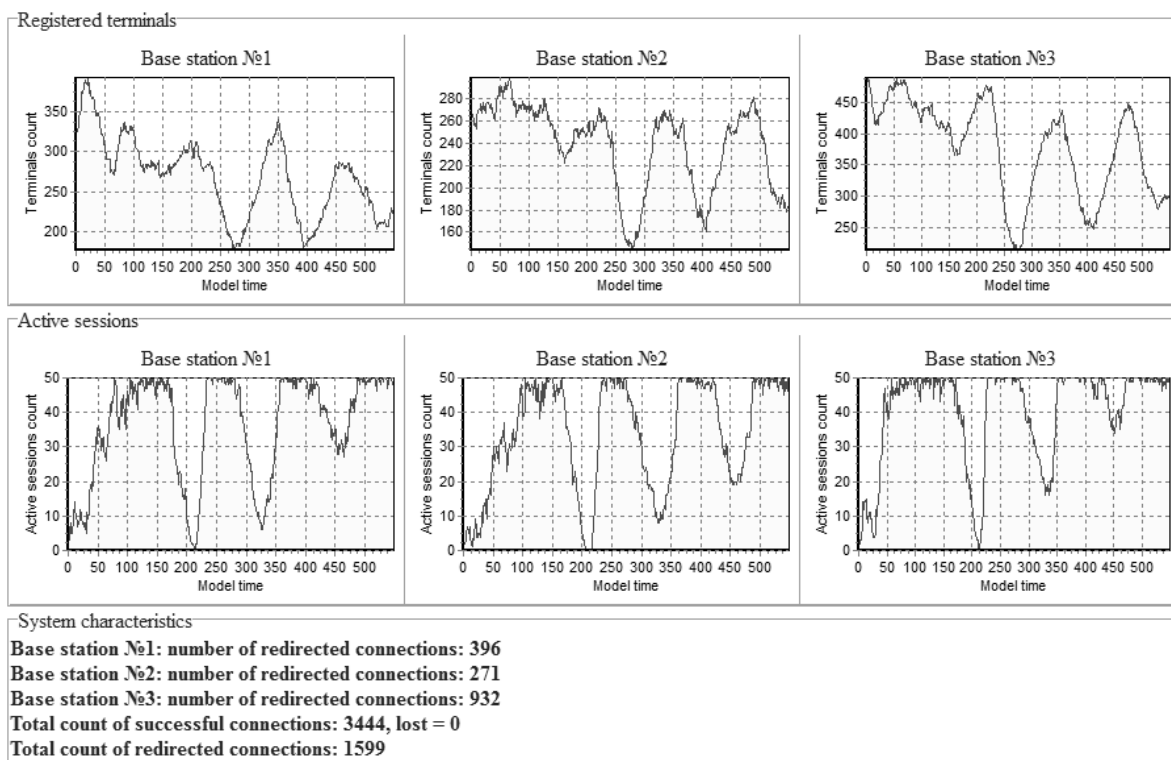


Рис. 7. Завантаженість GSM мережі

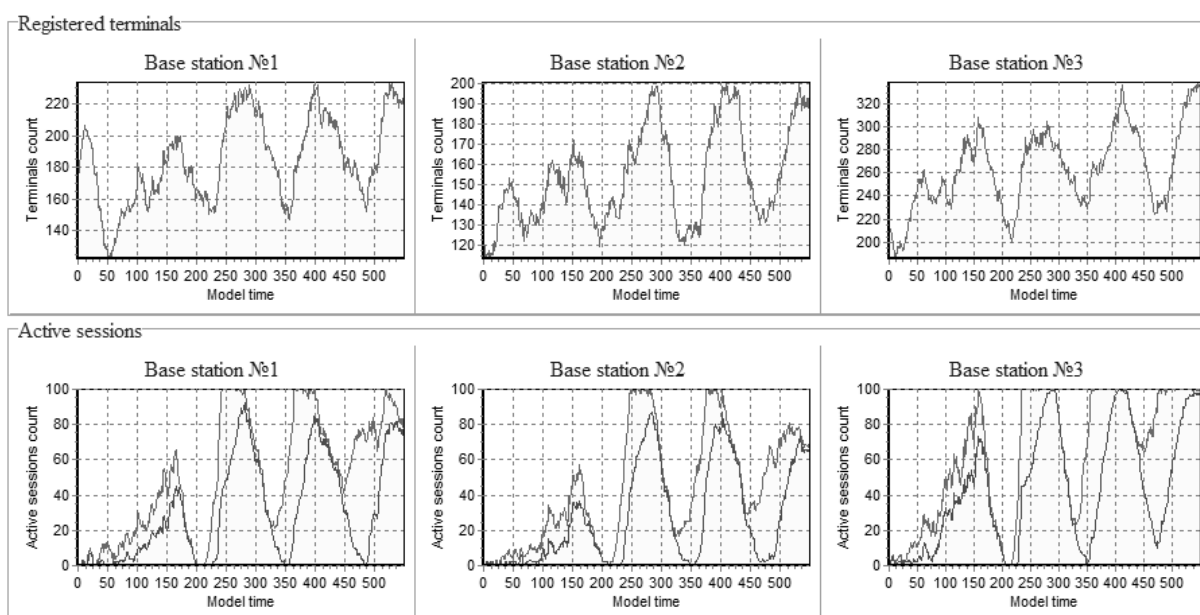


Рис. 8. Часові характеристики роботи UMTS в умовах перевантаження системи GSM у гетерогенній мережі

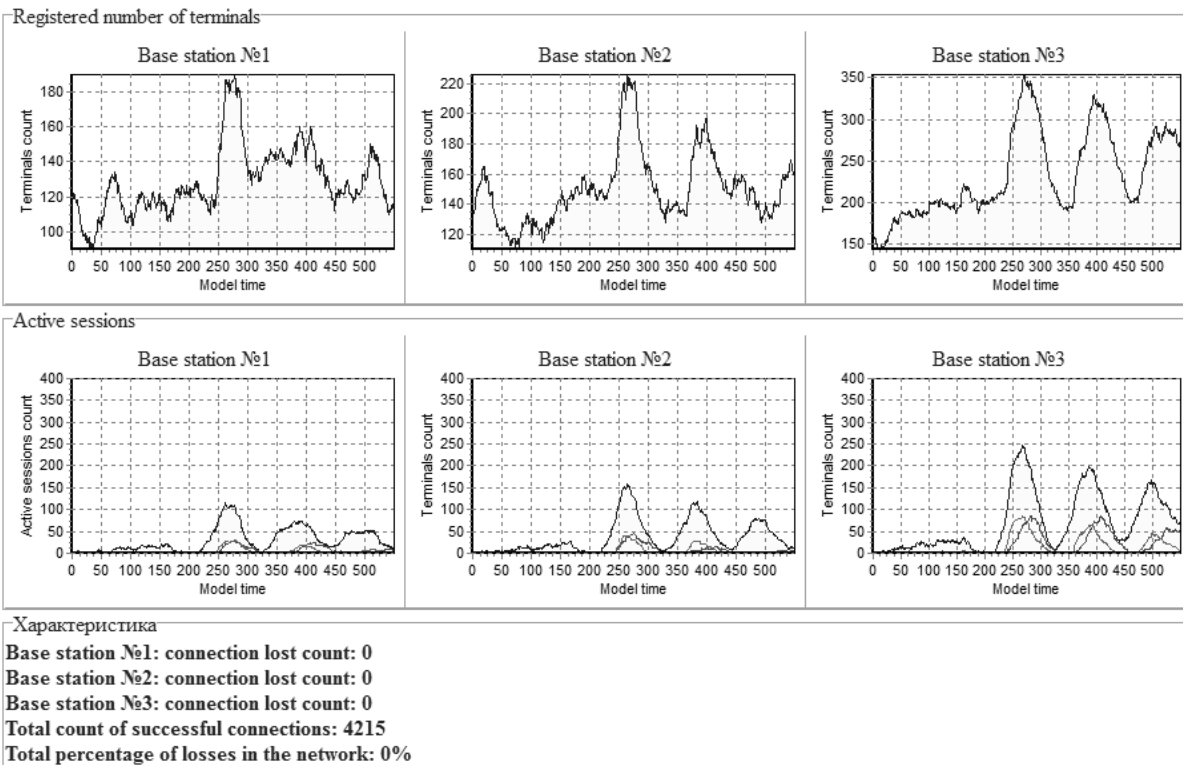


Рис. 9. Часові характеристики продуктивності LTE в умовах перевантаження UMTS і GSM

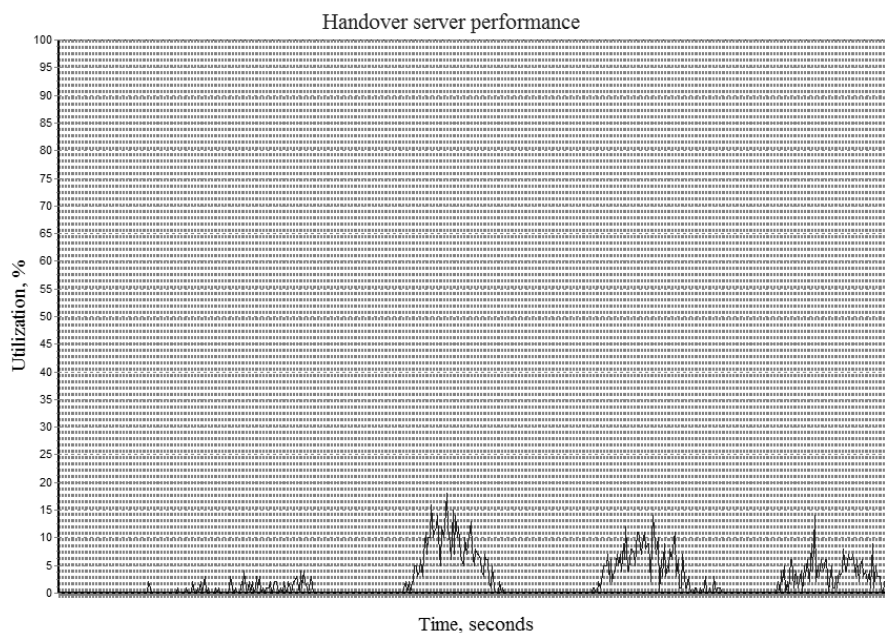


Рис. 10. Завантаження сервера в хмарному середовищі при виконанні процедури вертикального хендверу

За отриманими у цій роботі рішеннями одержано такі результати (див. рис. 6–10), причому найоптимальніший результат для виконання інтелектуального вертикального хендверу (та перерозподілу мережних ресурсів гетерогенної мережної платформи) одержано для вузла доступу BS2 (мережна система LTE). Результат для вузла доступу BS1 (мережна система LTE) є нижчим, хоча, згідно з функцією належності, належить до того самого лігвістичного терму. Запропонована модель гетерогенної мережі дає змогу дослідити процес оптимізації мережевої інфраструктури мобільного оператора перерозподілом мережних ресурсів та балансуванням навантаження у разі

впровадження і розвитку в ній елементів NGN-технологій для спільного розгортання інфокомунікаційної мереж реалізацією алгоритму вертикального хендовера. Це особливо актуально під час експлуатації в умовах наявності декількох безпроводних мереж доступу, що функціонують на одній території, та мобільних пристроїв, що підтримують функції паралельної взаємодії з такими мережами.

### Висновок

Для прийняття оптимального за критеріями групи QoS рішення щодо процедури ресурсного перерозподілу під час обслуговування користувачів мережних платформ безпроводного доступу було запропоновано централізований метод управління хендовером. Запропонований підхід дає змогу уникати двозначності у трактуванні нечітко заданих, двозначних та суб'єктивних суджень у процесі багатокритерійної оптимізації. Для дослідження процесів функціонування реальних гетерогенних мережних систем в умовах високої мобільності користувачів було розроблено імітаційну модель, яка, своєю чергою, реалізує запропоновану в роботі математичну модель процесу прийняття рішення щодо вертикального хендовера на основі використання методів нечіткої логіки. Це дає змогу налаштовувати велику кількість параметрів моделювання, використовуючи допоміжні математичні моделі, зокрема для опису та прогнозування процесів руху (мобільності) користувачів, а також поширення радіохвиль до їх термінального обладнання. Як було показано, вибір оптимального мережного вузла доступу на основі вирішення багатокритерійного завдання прийняття рішення щодо хендоверу є нетривіальним, оскільки на результати цього розв'язання впливають одночасно кілька динамічно-змінних і взаємопов'язаних факторів, тому їх агрегація згідно із запропонованими у роботі підходами є необхідною. В амбівалентній ситуації, коли користувач знаходиться на границі покриття комірки, запропонований в роботі алгоритм дав змогу прийняти обґрунтоване рішення щодо проведення процедури вертикального хендовера, базуючись на групі QoS-залежних критеріїв.

1. Tao Yang and Peng Rong, "A fuzzy logic vertical handoff algorithm with motion trend decision", in *Strategic Technology (IFOST), 2011 6th International Forum on*, 2011, pp. 1280–1283. 2. Masiuk, M. Beshley, O. Lavriv and Y. Deschynskiy, "Common radio resource management model for heterogeneous cellular networks", *IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016), Feb. 23–26, 2016, Lviv, Ukraine*, pp. 661–663. 3. I. Demydov, M. Seliuchenko, M. Beshley and M. Brych, "Mobility management and vertical handover decision in an always best connected heterogeneous network", *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv, 2015*, pp. 103–105. 4. M. Klymash, O. Lavriv, T. Maksymyuk and M. Beshley, "State of the art and further development of information and communication systems", *2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), Kiev, 2016*, pp. 1–6. 5. M. Beshley, V. Romanchuk, V. Chervenets and A. Masiuk, "Ensuring the quality of service flows in multiservice infrastructure based on network node virtualization", *2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), Kiev, 2016*, pp. 1–3. 6. M. Klymash, R. Savchuk, M. Beshley and P. Pozdnyakov. "The researching and modeling of structures of mobile networks for providing of multiservice radio access". *Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske, 2012*, pp. 281–282. 7. M. Mykhailo Klymash, Bohdan Stryhalyuk, Ivan Demydov, Mykola Beshley, Marian Seliuchenko. *A Novel Approach of Optimum Multi-criteria Vertical Handoff Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) . – 2014. – Volume 4. – Issue 5(4). – P. 42–52.* 8. Beshley M. *SOA quality management subsystem on the basis of load balancing method using fuzzy sets / M. Beshley, M. Klymash, B.Strykhalyuk, O. Shpur, B. Bugil, I. Kagalo // International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE). – 2015. – Volume 4. – Issue 1 – P. 10–21.* 9. M. Klymash, M. Beshley and V. Koval, "The model of prioritization of services for efficient usage of multiservice network resources", *Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske, 2012*, pp. 320–321.

## References

1. Tao Yang and Peng Rong, "A fuzzy logic vertical handoff algorithm with motion trend decision", in *Strategic Technology (IFOST), 2011 6th International Forum on*, 2011, pp. 1280–1283.
2. Masiuk, M. Beshley, O. Lavriv and Y. Deschynskiy, "Common radio resource management model for heterogeneous cellular networks", *IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016)*, Feb. 23–26, 2016, Lviv, Ukraine, pp. 661–663.
3. I. Demydov, M. Seliuchenko, M. Beshley and M. Brych, "Mobility management and vertical handover decision in an always best connected heterogeneous network," *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*, Lviv, 2015, pp. 103–105.
4. M. Klymash, O. Lavriv, T. Maksymyuk and M. Beshley, "State of the art and further development of information and communication systems", *2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo)*, Kiev, 2016, pp. 1–6.
5. M. Beshley, V. Romanchuk, V. Chervenets and A. Masiuk, "Ensuring the quality of service flows in multiservice infrastructure based on network node virtualization", *2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo)*, Kiev, 2016, pp. 1–3.
6. M. Klymash, R. Savchuk, M. Beshley and P. Pozdnyakov. "The researching and modeling of structures of mobile networks for providing of multiservice radio access". *Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske*, 2012, pp. 281–282.
7. M. Mykhailo Klymash, Bohdan Stryhalyuk, Ivan Demydov, Mykola Beshley, Marian Seliuchenko. *A Novel Approach of Optimum Multi-criteria Vertical Handoff Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*. – 2014. – Volume 4. – Issue 5(4). – P. 42–52.
8. Beshley M. *SOA quality management subsystem on the basis of load balancing method using fuzzy sets / M. Beshley, M. Klymash, B.Strykhalyuk, O. Shpur, B. Bugil, I. Kagalo // International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE)*. – 2015 – Volume 4 – Issue 1 – P. 10–21
9. M. Klymash, M. Beshley and V. Koval, "The model of prioritization of services for efficient usage of multiservice network resources", *Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske*, 2012, pp. 320–321.