

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
на Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт з технічної галузі наук

“ Телекомунікаційні системи та мережі ”

СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА

на тему:

« Дослідження процедури вертикального хендвера у гетерогенних бездротових
мережах »

Шифр «FUZZY TOPSIS»

2012

АНОТАЦІЯ

У гетерогенних бездротових мережах наступних поколінь користувач з терміналом із множинними мережними інтерфейсами матиме можливість отримувати доступ до мереж різних операторів/провайдерів, що побудовано за різноманітними бездротовими технологіями (WLAN, WMAN, WWAN та інші). У таких умовах виникає необхідність підтримувати мобільність користувачів, що реалізується завдяки вертикальному хендоверу - механізму передачі поточних з'єднань з однієї мережі радіодоступу до іншої. Таке переключення може ґрунтуватися на різних критеріях та факторах (QoS, вартість, політика оператора, переваги користувача та інше), вибір алгоритму поєднання та обробки яких впливає на якість для кінцевих користувачів та їх задоволеність, а також на ефективність розподілу ресурсів мережі.

Метою даної роботи є покращення якості надання послуг мобільного зв'язку за рахунок ефективного використання ресурсів гетерогенної бездротової мережі та оптимальної процедури вертикального хендовера. Для досягнення поставленої мети слід виконати низку завдань: проаналізувати особливості гетерогенних бездротових мереж та процедури хендовера; сформулювати задачу вибору мережі призначення; проаналізувати існуючі методи реалізації вертикального хендовера; обрати параметри та розробити критерій ініціації вертикального хендовера; розробити алгоритм вибору мережі, до якої буде здійснено передачу з'єднання; розробити імітаційну модель вертикального хендовера у гетерогенній мережі; здійснити дослідження імітаційної моделі та інтерпретувати результати.

Для вирішення поставлених задач було використано наступні методи: методи теорії масового обслуговування для генерації трафіку, методи математичного моделювання для дослідження роботи запропонованого алгоритму, методи електродинаміки для моделювання радіо покриття, методи теорії нечітких множин для формування критерію запуску хендовера та вибору мережі призначення.

У даній роботі наведено алгоритм інтелектуального вертикального хендовера, що є мультикритерійним та використовує апарат фаззі-логіки для обробки даних при ініціації хендовера та виборі мережі. Робота організована наступним чином. У першому розділі наведено загальну характеристику гетерогенної мережі та вертикального хендовера, класифікацію хендовера. У другому розділі наводиться огляд існуючих алгоритмів вертикального хендовера із посиланнями на роботи, у яких вони використовуються, а також формулюється загальна проблема вибору мережі. Третій розділ присвячено розробці алгоритму на базі фаззі-регуляторів із використаннями методики ранжування TOPSIS. У четвертому розділі наведено опис імітаційної моделі у середовищі MATLAB та показано результати моделювання, на базі яких зроблено висновки щодо ефективності запропонованого алгоритму. У додатках наведено класифікаційне дерево процедури хендовера, а також графіки, що відображають результати моделювання.

Обсяг роботи: 30 сторінок, 19 рисунків, 5 таблиць, 2 додатки, 12 використаних наукових джерел.

Ключові слова: вертикальний хендовер, гетерогенна бездротова мережа, фаззі-логіка, MCMD, TOPSIS.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Характеристика гетерогенної мережі та вертикального хендовера.....	7
2 Огляд існуючих рішень реалізації VHO.....	11
3 Розробка алгоритму вертикального хендовера.....	15
4 Імітаційне моделювання та оцінка результатів.....	25
Висновки.....	28
Перелік посилань.....	29
Додаток А - Класифікаційне дерево процедури хендовера.....	31
Додаток Б - Результати моделювання.....	32

ВСТУП

Основними тенденціями на ринку мобільного зв'язку є стрімкий розвиток різноманітних технологій доступу до радіосередовища, а також розповсюдження мобільних пристроїв, що мають множинні мережні інтерфейси. За даними компанії «Ericsson» щомісячний мобільний трафік у 2012 році у світі складає близько 700 петабайт, при цьому він зростає експоненційно, і вже у 2017 році очікується збільшення трафіку у 15 разів, здебільшого за рахунок відеосервісів [1]. При цьому зростають вимоги користувачів до якості та спектру інфокомунікаційних послуг, які повинні забезпечуватися в будь-який час у будь-якому місці, тобто повинна додержуватися концепція «Always Best Connected» (ABC), яку покликано реалізовувати NGN-мережі.

Покриття мереж операторів жодної з існуючих бездротових технологій не є досконалим, а при впровадженні мереж нового покоління у національних масштабах перед оператором виникають проблеми обмеженого бюджету, складності в отриманні ліцензії, обмеженого радіочастотного ресурсу. Тому виникає необхідність в об'єднанні мережних інфраструктур різних операторів, побудованих за різними технологіями, тобто формування гетерогенної мережі. Мотивом такого сценарію також є неможливість визначення єдиної технології радіодоступу, яка би поєднувала оптимальну пропускну здатність з оптимальним покриттям за розумною ціною.

Найбільшими викликами при реалізації такої мережі є ефективне управління спільними радіоресурсами і прозоре пересування абонента, що включає у себе такі механізми як підтримка мобільності, хендовер, забезпечення QoS, система безпеки та тарифікація. Хендовер у гетерогенній мережі є ключовою задачею, що дозволяє абоненту безшовно пересуватися у мережі. І якщо горизонтальний хендовер є достатньо дослідженою процедурою та здебільшого базується на рівні сигналу (RSS), то вертикальний хендовер є значно складнішою процедурою та потребує ретельного дослідження з метою оптимізації використання ресурсів мереж та максимізації якості надаваних послуг та задоволеності користувачів.

Отже метою даної роботи є покращення якості надання послуг мобільного

зв'язку за рахунок ефективного використання ресурсів гетерогенної бездротової мережі та оптимальної процедури вертикального хендовера.

Для досягнення поставленої мети слід виконати низку завдань:

- 1) проаналізувати особливості гетерогенних бездротових мереж та процедури хендовера;
- 2) сформулювати задачу вибору мережі призначення;
- 3) проаналізувати існуючі методи реалізації вертикального хендовера;
- 4) обрати параметри та розробити критерій ініціації вертикального хендовера;
- 5) розробити алгоритм вибору мережі, до якої буде здійснено передачу з'єднання;
- 6) розробити імітаційну модель вертикального хендовера у гетерогенній мережі;
- 7) здійснити дослідження імітаційної моделі та інтерпретувати результати.

Наукова новизна роботи полягає у наступному:

- розкриття понять гетерогенної мережі та вертикального хендовера, аналіз та класифікація процедури;
- використання апарату фазі-логіки для реалізації інтелектуального вертикального хендовера та вибору мережі призначення;
- застосування механізму передбачення значень RSS на базі теорії GPT (Grey Prediction Theory) при оцінці необхідності хендовера;
- використання методу АНР (Analytic Hierarchy Process) для розрахунку ваги кожного з критеріїв для певного типу трафіку;
- використання алгоритму ранжування TOPSIS (Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) при вирішенні задачі вибору мережі призначення.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕТЕРОГЕННОЇ МЕРЕЖІ ТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРА

Гетерогенна, або неоднорідна, бездротова мережа може бути визначена як така, що складається з двох або більше сегментів різних технологій радіодоступу з метою забезпечення найкращого покриття та підвищення якості надання послуг [2] (див.рис.1). У цілому гетерогенну мережу можна розділити на наступні типи мереж в залежності від їх масштабу: персональні бездротові мережі WPAN (Wireless Personal Area Networks) - це бездротові мережі, що покривають маленьку географічну територію (наприклад, Bluetooth, ZigBee); локальні бездротові мережі WLAN (Wireless Local Area Networks) - мережі, що покривають територію у 50-300м та використовуються, як правило, у будівлях офісів, шкіл, кампусів (наприклад, стандарти серії IEEE 802.11); міські бездротові мережі WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) - стандарти серії IEEE 802.16; глобальні бездротові мережі WWAN (Wireless Wide Area Networks) - це мережі великих масштабів, що, як правило, будуються на стільникових технологіях 3GPP або 3GPP2, а також GSM, EDGE.

Хендовер (англ. - handover, handoff) є ключовим механізмом, що дозволяє абоненту безшовно пересуватися у гетерогенній мережі. Це є процес передачі управління з'єднанням від однієї точки доступу/базової станції до іншої. Хендовер між сусідніми сегментами мережі однієї технології зветься горизонтальним, між різними типами мереж - вертикальним (англ. - Vertical Handover (VHO)) (рис.1.1).

Повну класифікацію хендовера відображено на схемі додатку А [4]. Якщо передача управління сесією абонента здійснюється без втрати поточного з'єднання, хендовер зветься м'яким (типу "make-before-break"): мобільна станція може спілкуватися та зв'язуватися з декількома пристроями доступу одночасно. У іншому випадку, коли в кожний момент часу мобільний вузол асоціюється лише з однією базовою станцією або точкою доступу, хендовер зветься жорстким (типу "break-before-make"): тобто спочатку розривається з'єднання з поточною мережею та лише потім встановлюється з'єднання з новою.

В залежності від ініціатора хендовер може бути таким, що ініціюється

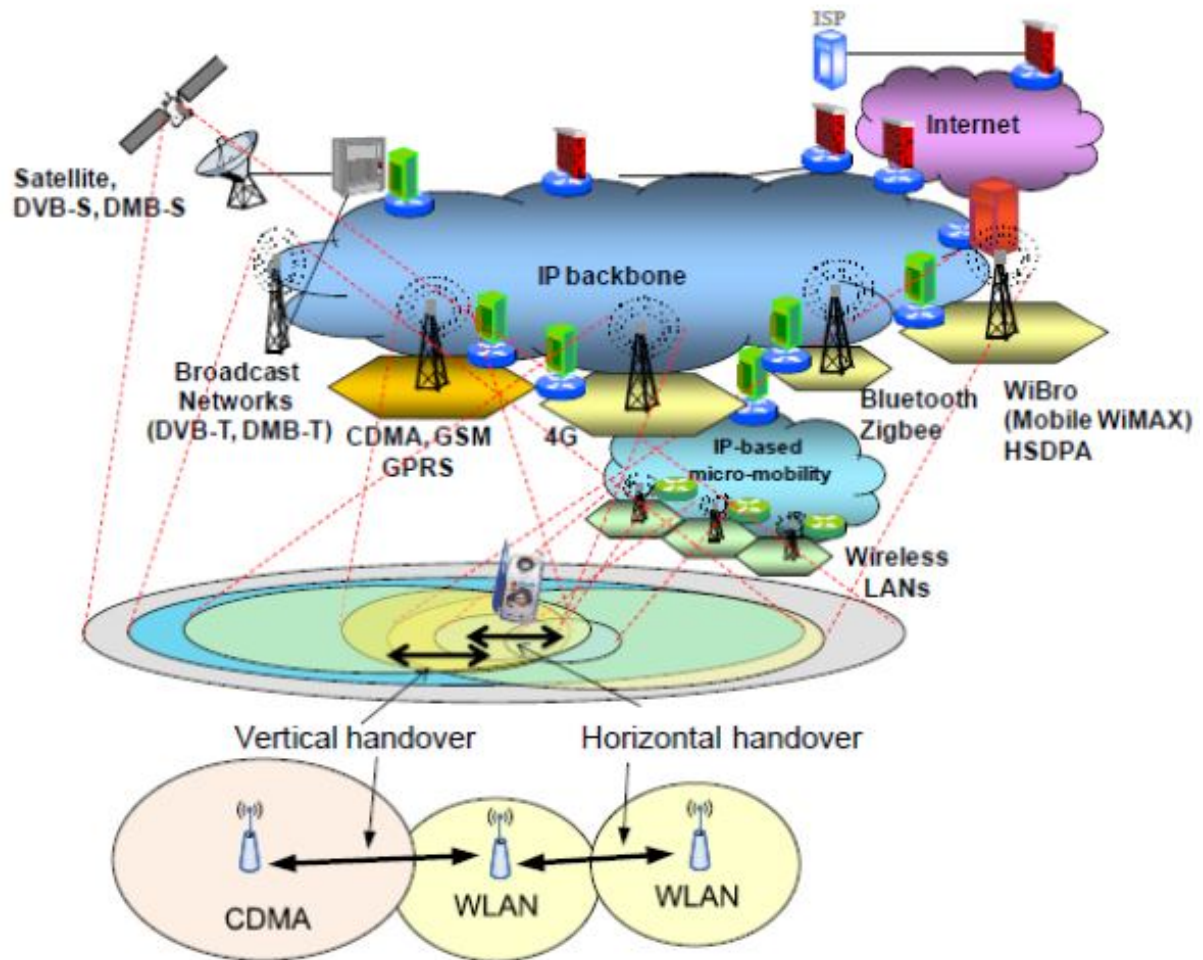


Рисунок 1.1 - Вертикальний та горизонтальний хендовер у гетерогенній мережі мобільною станцією (англ. - Mobile-controlled), мережею (англ. - Network-controlled) або мобільною станцією у кооперації з мережею (англ. - Mobile-assisted).

Вертикальний хендовер також можна класифікувати в залежності від причини на висхідний та низхідний. Низхідний хендовер здійснюється від більшої мережі з меншою швидкістю до меншої мережі з більшою швидкістю. Його основна особливість - це не критичність до затримки, оскільки немає ризику виходу з більшої мережі, до якої наразі приєднаний мобільний вузол. Такий хендовер здійснюється з метою оптимізації роботи мережі. Висхідний хендовер - той, що відбувається від меншої мережі з більшою швидкістю до більшої мережі з меншою швидкістю. Такий тип хендовера здійснюється, коли мобільний вузол покидає мережу з меншим покриттям, тому такий хендовер є чутливим до затримок.

Основні вимоги до хендовера наступні: низькі затримки процедури, висока

надійність, високий рівень успішності процедури, мінімальна кількість хендоверів (оскільки часті переключення призводять до значних енерговитрат та витрат корисної пропускної здатності мережі), мультикритеріальність - тобто врахування множини параметрів, забезпечення прозорого переміщення абонента, балансування навантаження на мережі радіодоступу. Техніка вертикального хендовера повинна обирати найбільш доречний момент його ініціювання та найбільш придатну мережу радіодоступу серед усіх доступних.

Традиційний механізм горизонтального хендовера базується на оцінці потужності сигналу, що приймається (англ. - Relative Signal Strength (RSS)). Хендовер запускається, коли рівень RSS обслуговуючої базової станції стає нижчим за встановлене порогове значення. З іншого боку, мобільний вузол у гетерогенному бездротовому середовищі може пересуватися між мережами доступу з різними характеристиками (пропускна здатність, затримка, споживча потужність, вартість), які не можуть бути порівняні безпосередньо. Тому RSS не є достатнім критерієм для здійснення ефективного та інтелектуального прийняття рішення щодо вертикального хендовера; інші метрики, такі як (але не виключно) вартість, завантаженість мережі, доступна пропускна здатність, безпека та переваги користувачів також мають бути враховані.

Вертикальний хендовер здійснюється у три етапи: збір інформації щодо наявних мереж, прийняття рішення щодо мережі призначення та власно здійснення хендовера.

На етапі збору інформації (виявлення мереж) мобільний вузол з множинними мережними інтерфейсами виявляє доступні бездротові мережі шляхом прослуховування та отримання службових розсилок цих мереж (service advertisements). Проте підтримка всіх цих інтерфейсів у активному стані потребує значних енерговитрат. Також необхідно зібрати інформацію щодо стану мобільного вузла (заряд батареї, ресурси, швидкість, клас послуг тощо), а також щодо потреб користувача (бюджет, потрібні послуги).

На етапі прийняття рішення, або запуску хендовера, вирішується, коли здійснити хендовер та до якої з наявних мереж. Ця фаза є найбільш критичною,

оскільки від її результату залежить якість надання послуг.

На етапі здійснення хендвера відбувається безпосередня передача поточного сеансу до обраної на попередньому етапі мережі доступу. Це потребує передачі поточною мережею інформації щодо маршрутизації та іншої контекстної інформації стосовно мобільної станції (МС) в нову мережу якомога швидше. Апаратна реалізація хендвера можлива за рахунок впровадження технології SDR (Software Defined Radio).

Сформулюємо загальну проблему вибору мережі у наступному вигляді:

$$\max f(x_{mn}, r_{mn}, G_m) \quad (2.1)$$

за умови

$$\sum_{0 \leq m \leq M} x_{mn} = 1 \text{ при } n=1,2,\dots,N \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} & x_{mn} \in \{0, 1\} \text{ при } m=1,\dots,M \text{ і } n=1,2,\dots,N \\ & r_{mn} = \begin{cases} r_{mn}^{Req}, & \text{якщо } \sum_{0 \leq n \leq N} r_{mn} * x_{mn} \leq G_m \\ g_{mn}(v_m, G_m, N_m), & \text{якщо } \sum_{0 \leq n \leq N} r_{mn} * x_{mn} > G_m \end{cases} \quad (2.3) \\ & v_m = [r_{m1}^{Req}, \dots, r_{mn}^{Req}, \dots, r_{mN}^{Req}] \text{ при } m=1,\dots,M \end{aligned}$$

Нехай гетерогенна мережа складається з M мереж радіодоступу та набору з'єднань $n=1,2,\dots,N$. Цільова функція $f(x_{mn}, r_{mn}, G_m)$ - це критерій, що необхідно максимізувати (наприклад, пропускна спроможність). Кожна з мереж має обмежений радіоресурс G_m , та коли користувач n розподіляється до мережі m , він використовує її ресурс у розмірі r_{mn} ; x_{mn} - це бінарна величина, яка дорівнює «1», якщо абонент n розподілений до мережі m , а інакше - «0»; r_{mn}^{Req} - це мінімальний ресурс, необхідний для задоволення вимог QoS користувача, N_m - це кількість користувачів у мережі m . Коли усі ресурси мережі зайняти та надходять нові запити на з'єднання, то розподіл ресурсів поміж користувачів здійснюється за певною політикою, що представлена функцією $g_{mn}(v_m, G_m, N_m)$, яка може залежати від загальної ємності мережі (G_m), кількості користувачів у мережі (N_m) та вектору вимог до QoS для усіх користувачів (v_m).

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ РЕАЛІЗАЦІЇ VHO

Відносно процедури вертикального хендовера були спроби стандартизації з боку Інституту інженерів електротехніки та електроніки (IEEE) у вигляді стандарту 802.21, який був прийнятий у 2008 році та носить назву «Хендовер, незалежний від середовища передавання» (“Media Independent Handover”).

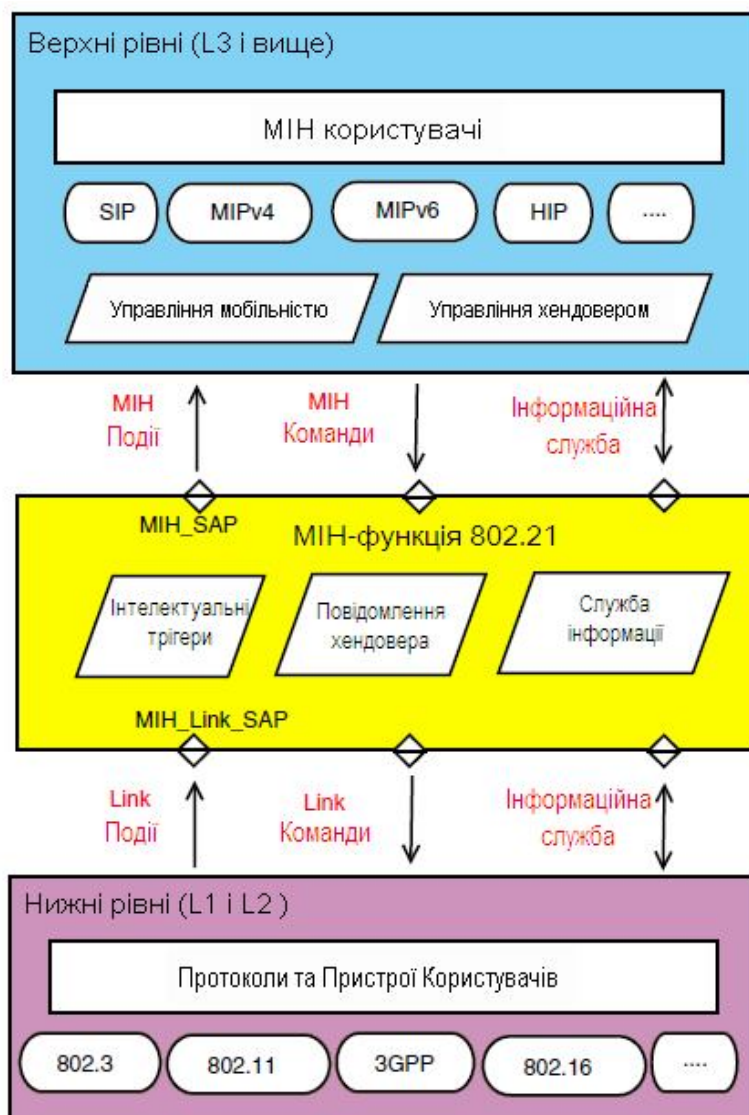


Рисунок 2.1 - Архітектура стандарту IEEE 802.21

Архітектуру стандарту наведено на рис.2.1. IEEE 802.21 визначає три основні служби, що є у розпорядженні застосунків управління мобільністю (наприклад, мобільного міжмережного протоколу MIP): служба подій, інформаційна служба та служба команд. Ці служби передають інформацію з нижніх рівнів моделі OSI на

верхні за допомогою протоколу MIPF - «Media Independent Handover Function». Протокол MIPF у моделі OSI займає місце між канальним та мережним рівнями, чим робить роботу прикладних застосунків (тобто, верхніх рівнів моделі) «прозорою» для будь-яких стандартів нижніх рівнів (802.3, 802.11, 802.16, 3GPP, 3GPP2).

Таким чином, головною метою цього стандарту є оптимізація механізмів підтримки мобільності у гетерогенних мережах. Проте цей стандарт є досить загальним описом принципів побудови системи, але не містить конкретної апаратної або алгоритмічної реалізації: усі тонкощі впровадження, включаючи алгоритм прийняття рішення та здійснення хендовера, залишаються на розсуд інженерів-розробників.

Існуючі алгоритми VHO можуть бути класифіковані за параметрами, що формують критерій вибору, за критеріями хендовера та за методом їх обробки. Вхідними параметрами для алгоритму VHO можуть бути наступні:

- 1) Параметри користувача: переваги (провайдер, бюджет), профіль користувача, його статус (швидкість пересування, місцезнаходження), тривалість з'єднання з поточною мережею.
- 2) Вимоги застосунків: QoS (пропускна спроможність, втрати пакетів, затримка, джитер, рівень помилок пакетів), безпека.
- 3) Клас трафіку: розмовний, потоковий, інтерактивний, фоновий.
- 4) Параметри мережі: завантаженість (доступна пропускна спроможність, поточна кількість з'єднань), грошова вартість, покриття, підтримувані класи трафіку та граничний рівень швидкості мобільного вузла.
- 5) Параметри каналу зв'язку: рівень сигналу (Received Signal Strength - RSS), співвідношення сигнал-шум (Signal to Interference and Noise Ratio - SINR), рівень бітових помилок (Bit Error Rate - BER), затримка та джитер.
- 6) Параметри мобільного пристрою: рівень заряду акумулятора, споживча потужність.

Існують алгоритми вертикального хендовера, які враховують тільки один-два вище наведених параметра: RSS [4], швидкість пересування та місцезнаходження

[5], пріоритети користувачів [6], доступну пропускну спроможність [7] та інші. Такі алгоритми не є оптимальними, тому що вони не враховують усі необхідні параметри (QoS, вартість) у комплексі, проте вони є достатньо простими.

Набір з деяких вище наведених параметрів може об'єднуватися у різні типи критеріїв хендовера. Існують однокритеріальні та багатокритеріальні алгоритми. Згідно з однокритеріальними підходами формується загальна вартісна оцінка мережі, яка потім мінімізується:

- кумулятивна:
$$f_n = \sum_s \sum_i w_{s,i} * p^{n_{s,i}} \rightarrow \min$$

- мультиплікативна:
$$f_n = \prod_{i,s} p^{w_{s,i} n_{s,i}} \rightarrow \min$$

де p^n - це вартість i -го параметра послуги s у мережі n ; $w_{s,i}$ - це ваговий коефіцієнт, який позначає важливість i -го параметра, при цьому $\sum w_s = 1$.

Мультикритеріальні рішення задачі вертикального хендовера будуються на алгоритмах MADM (Multi-Attribute Decision Making), що для ранжування мереж використовують наступні схеми: SAW (Simple Additive Weighting); MEW (Multiplicative Exponent Weighting); TOPSIS (Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) - це техніка ранжування за наближеністю до ідеального рішення та віддаленістю від найгіршого; ELECTRE (Elimination and Choice Translating Priority), AHP and GRA (Analytic Hierarchy Process and Grey Relational Analysis), VIKOR [8] - компромісний програмний підхід, що засновується на функції агрегації, яка показує наближеність до ідеального рішення. Порівняльний аналіз цих методів для 4G-систем наводиться у роботі [9]. Він показує, що SAW, TOPSIS і VIKOR є більш придатними для голосового трафіку, а GRA та MEW - для трафіку даних. Проте такі алгоритми є суто математичними, але не інтелектуальними, а як відомо, інтелектуальність - це одна з ознак мереж наступного покоління.

Іншим підходом до агрегації параметрів та обчислення критерію оптимізації вибору мережі призначення вертикального хендовера є застосування механізмів штучного інтелекту: еволюційних обчислень (генетичні алгоритми - GA), фаззі-логіки, нейронних мереж та комбінування їх між собою, а також залучення до

прийняття рішення такого математичного методу як теорія ігор [10]. Проте важливим залишається баланс складності та швидкодії, тому що обчислення за занадто складним алгоритмом може вносити значні затримки у процедуру хендовера, що є небажаним. Апарат фаззи-логіки (англ. fuzzy logic - «нечітка» логіка) дозволяє моделювати якісні аспекти експертних знань людини та її міркування щодо процесу обробки хендовера за допомогою так званих «правил мислення» (англ. “inference rules”), а також дозволяє обробляти неточні та недостовірні результати вимірювання параметрів наявних мереж. З іншого боку, нейронні мережі (Neural Networks - NN) при використанні повного набору вхідних параметрів та бажаних вихідних, можуть бути натреновані для оптимального здійснення процедури вертикального хендовера. І нарешті, може використовуватися комбінація фаззи-логіки з NN або з GA для організації адаптивних механізмів оптимального вертикального хендовера.

Отже існує безліч теоретичних розробок щодо алгоритмів вертикального хендовера. Вони відрізняються набором параметрів, що враховуються при оцінці мереж-кандидатів, механізмом запуску вертикального хендовера, а також алгоритмом вибору мережі призначення. Кожен з цих алгоритмів має свої недоліки, що як правило, пов'язані з обмеженим набором параметрів, який не завжди враховує або параметри якості, або вартість послуг, або політику користувача і дуже небагато з них знаходять реальну практичну реалізацію. Тому дуже важливим є знаходження балансу між обраним набором параметрів і складністю системи їх обробки та якістю обслуговування для кінцевих користувачів.

Для алгоритму вертикального хендовера запропоновано використовувати механізм фаззи-логіки, що себе зарекомендував як простий у впровадженні та розумінні апарат управління. Головною перевагою розробленого алгоритму є використання паралельних фазі-регуляторів, що дозволяють у значній мірі скоротити кількість нечітких правил, а отже розвантажити обчислювальну систему.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРА

Функціональна схема системи управління хендвером наведена на рис.3.1.

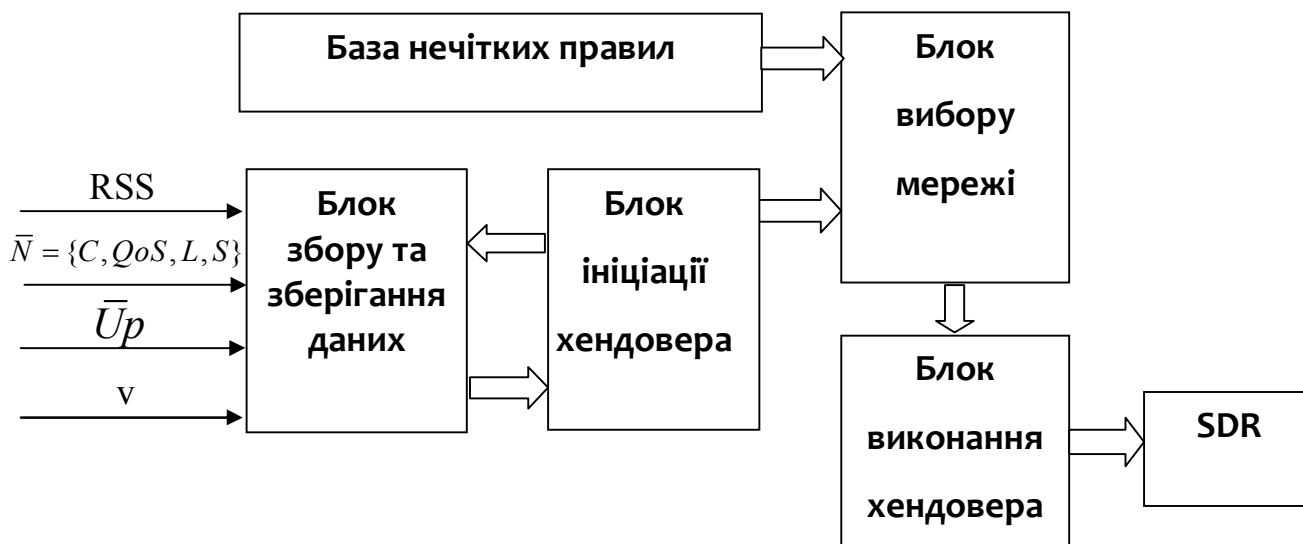


Рисунок 3.1 - Функціональна архітектура системи управління вертикальним хендвером

В даній роботі спроектовано алгоритми роботи блока ініціації та вибору мережі - процеси збору даних та апаратна реалізація не розглядаються, проте рекомендовано будувати таку систему на базі SDR-пристроїв. Блок ініціації хендвера повинен вирішувати, чи є хендвер у даний момент необхідним. VHO запускається за наступних умов:

- коли МС виявляє доступність нової бездротової мережі чи виходить з зони покриття обслуговуючої мережі;
- коли МС виявляє зміну пріоритетів користувачів (наприклад, користувач вирішує переключитися до більш захищеної мережі);
- коли МС виявляє новий запит на послугу або коли параметри QoS поточного з'єднання погіршуються;
- при значному погіршенні або повній втраті сигналу від поточної мережі.

Блок ініціації хендвера складається з наступних функціональних модулів:

- прогнозування RSS за алгоритмом GPT (Grey Prediction Theory);
- оцінки необхідності хендвера (VHO-фактор) за допомогою паралельних

фаззі-регуляторів з урахуванням RSS, швидкості пересування МС (v), зважених параметрів QoS для різних типів трафіку, вартості послуг (C) у мережі, а також її завантаженості (L) та безпеки (S), пріоритетів користувача (U_p).

Блок вибору мережі використовує MADM-алгоритм TOPSIS для ранжування та вибору мережі призначення хендовера. Загальний вигляд запропонованого алгоритму VHO наведено на рис. 3.2. Блок-схеми роботи модулів оцінки необхідності VHO та вибору мережі наведено на рис.3.3. Як видно, ці модулі відрізняються тільки за вихідними параметрами, а процес обчислень майже співпадає.

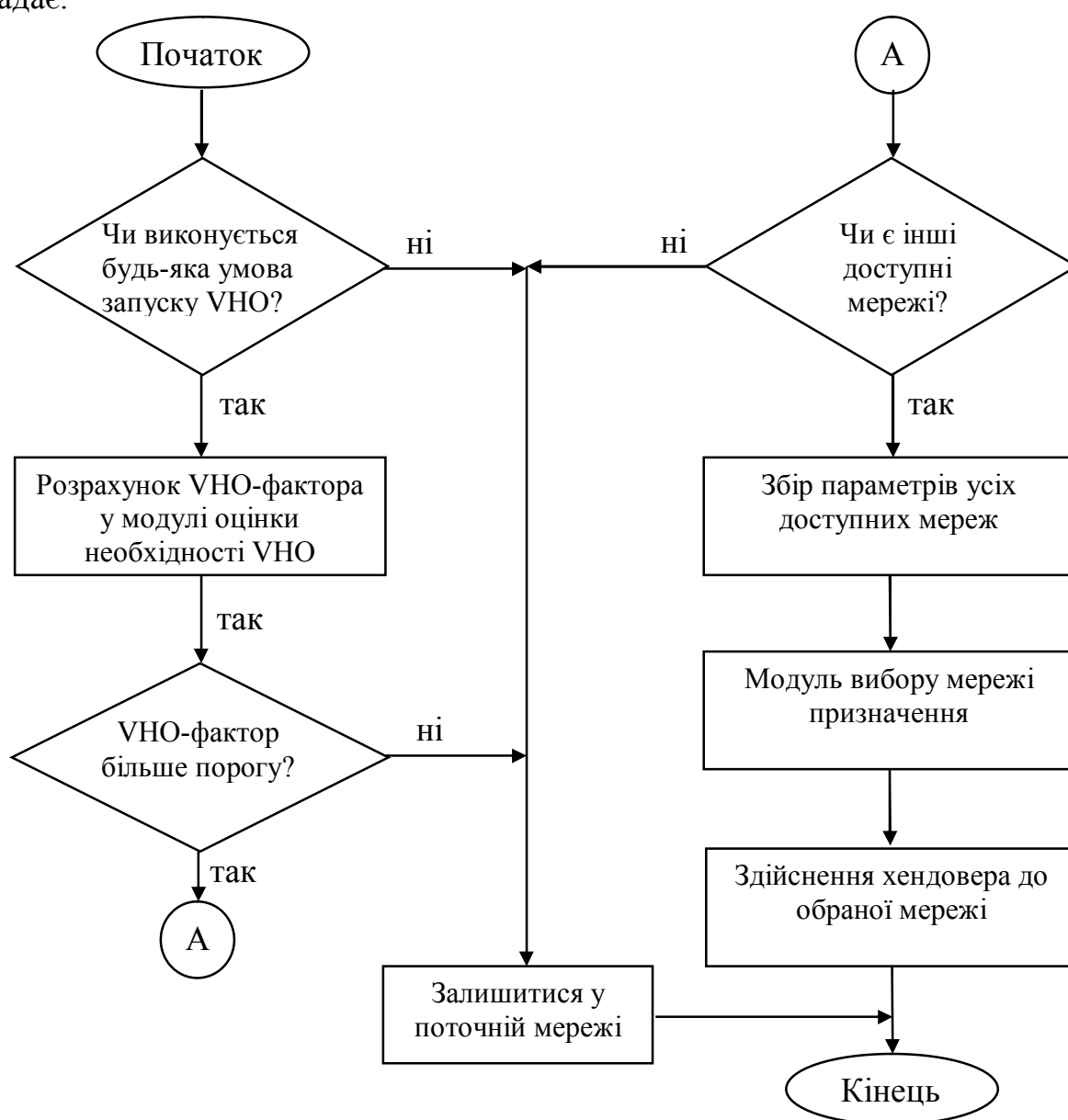


Рисунок 3.2 - Блок-схема алгоритму VHO

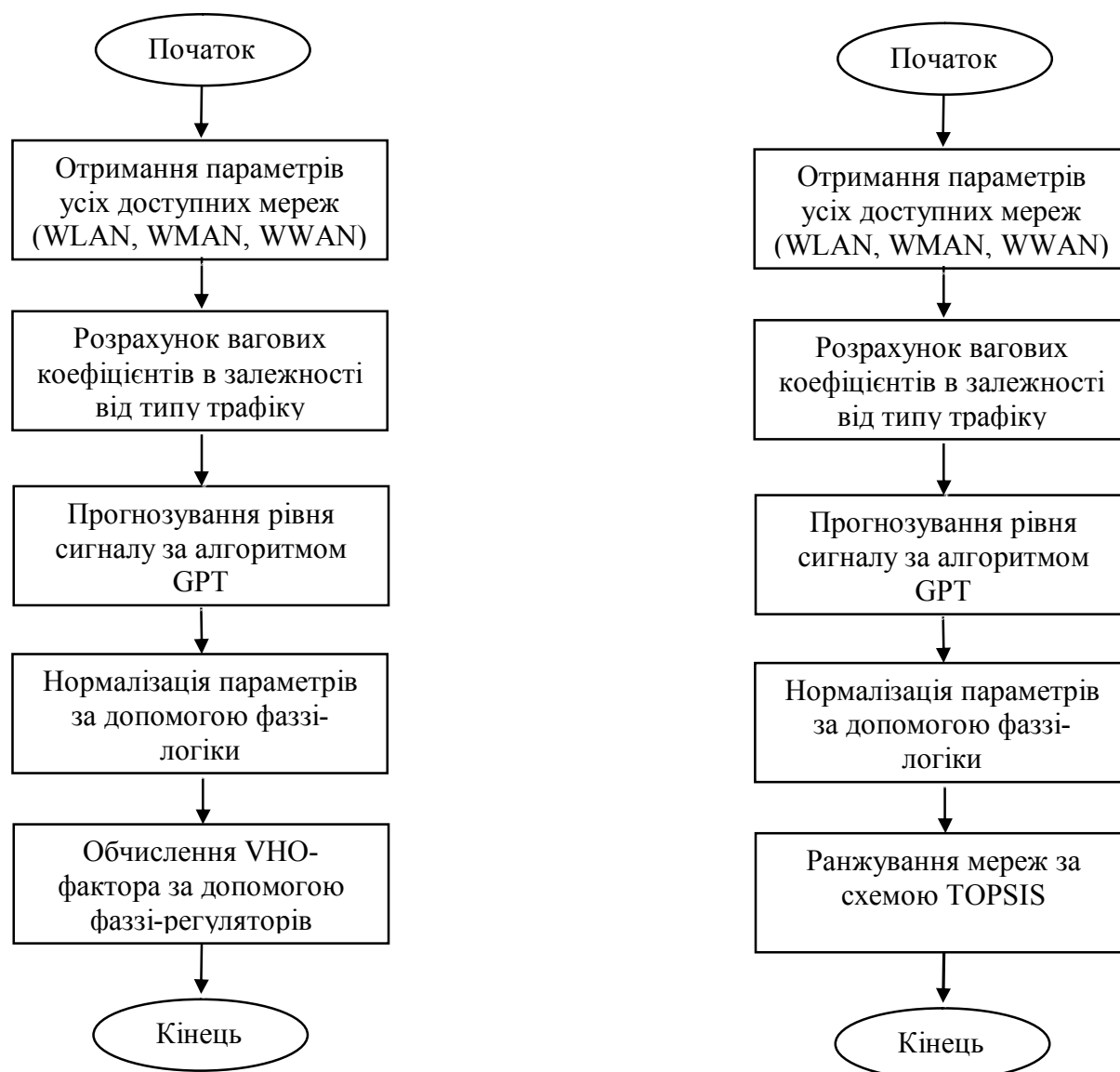


Рисунок 3.3 - Блок-схеми алгоритмів модулів оцінки необхідності хендвера (ліворуч) та вибору мережі призначення (праворуч)

Розрахунок вагових коефіцієнтів дозволяє відобразити важливість того чи іншого параметра для певного типу трафіку. Наведемо розрахунок вагових коефіцієнтів за схемою аналітичного ієрархічного процесу (АНП) для розмовного трафіку. Для інших типів розрахунок аналогічний. Отже алгоритм АНП наступний:

1) Декомпозиція проблеми: визначення мети та деталізація критеріїв рішення - виділення рівнів критеріїв та взаємозв'язків між ними (див.рис.3.4).

2) Визначення відносної важливості факторів кожного рівня: починається з критеріїв першого рівня і закінчується на найнижчому рівні. На кожному рівні відбувається попарне порівняння критеріїв за їх важливістю та із врахуванням

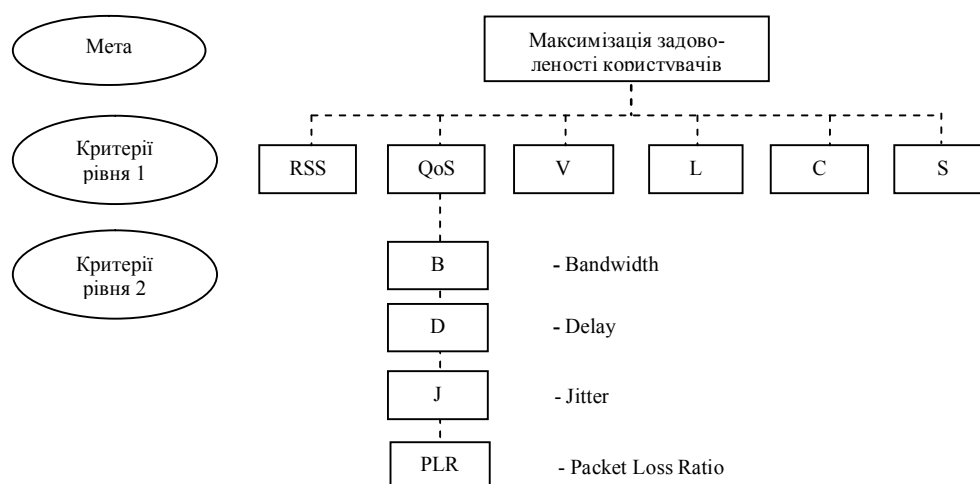


Рисунок 3.4 - АНР-ієрархія для задачі хендвера

критерію більш високого рівня. Порівняна важливість одного критерію відносно іншого визначається на підставі експертних оцінок за шкалою від 1 до 9, де 1 - це рівний пріоритет критеріїв, а 9 - це найвищий пріоритет одного критерію над іншим. Результати порівняння записуються у вигляді матриці $A = [a_{ij}]_{n \times n}$, де $a_{ij} = 1$, якщо $i = j$, і $a_{ij} = 1/a_{ji}$, якщо $i \neq j$ (див.табл.3.1-3.2).

Таблиця 3.1 - Порівняльна важливість критеріїв

Критерій	RSS	QoS	V	L	S	C	w
RSS	1	1	3	4	5	7	0.3271
QoS	1	1	3	4	5	7	0.3271
V	1/3	1/3	1	2	3	5	0.1466
L	1/4	1/4	1/2	1	3	5	0.1087
S	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3	0.0591
C	1/7	1/7	1/5	1/5	1/3	1	0.0314

рівня 2

Критерій	D	J	PLR	B	w
D	1	1	3	7	0.3950
J	1	1	3	7	0.3950
PLR	1/3	1/3	1	5	0.1626
B	1/7	1/7	1/5	1	0.0474

Таблиця 3.2 - Порівняльна важливість критеріїв

3) Нормалізація і розрахунок відносної ваги (w) шляхом ділення кожного елемента матриці на суму елементів по стовпцю:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}}, \quad (3.1)$$

а потім розрахунок середнього арифметичного кожного ряду:

$$w_i = avg_i(a'_{ij}), \quad (3.2)$$

Тоді у результаті розрахунку отримуємо вектор вагових коефіцієнтів $W=[w_i]_n$.

Прогнозування рівня сигналу необхідно для зменшення імовірності втрати виклику в умовах логнормального згасання сигналу у гетерогенному бездротовому середовищі. Схема Grey Prediction по декількох попередніх значеннях RSS прогнозує наступне його значення. У алгоритмі GPT модель динамічної системи представлена виразом $GM(n,h)$, де n - це порядок диференційного рівняння GPT, h - це кількість змінних. Ми використаємо модель $GM(1,1)$, в яку надходить послідовність n RSS-вимірювань $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$. Для подальшої обробки відліків сигналу, що мають випадковий шум, розраховується кумулятивна послідовність AGO (Accumulated Generating Operation) першого порядку:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad k=1,2,\dots,n \quad (3.3)$$

Для інтерполяції послідовності використовується лінійна динамічна модель, що наведена у рівнянні (3.2):

$$x^{(0)}(k) + a * x^{(1)}(k) = b \quad (3.2)$$

де a, b - це коефіцієнти диференційного рівняння, для якого рішення має вигляд:

$$x^{(1)}(n+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}] * e^{-an} + \frac{b}{a} \quad (3.5)$$

Параметри a, b можна виразити у вигляді вектора c :

$$c = [a \ b]^T = (B^T * B)^{-1} * B^T * \gamma_n \quad (3.6)$$

де

$$\gamma_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T, \quad (3.7)$$

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

Тоді наступне значення RSS розраховується за формулою (3.9):

$$\tilde{x}^{(0)}(n+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}] * e^{-an} (1 - e^a). \quad (3.9)$$

Подальша нормалізація параметрів VHO, які для різних типів бездротових мереж не можна порівнювати безпосередньо, здійснюється за допомогою нечітких множин, область визначення яких обирається на підставі стандартів на відповідні технології. Для оцінки параметрів вводяться лінгвістичні терми: «низький», «середній», «високий». Для оцінки безпеки та вартості використовується загальна оцінка у діапазоні [1:10], де 10 - це найбільший рівень безпеки та найвища вартість. Нижче наведено функції приналежності для параметру RSS, що мають трапецеїдальний вигляд і розраховуються за формулою:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } x < l \text{ або } x > u \\ \frac{x-l}{x-\frac{w}{2}-l}, \text{ якщо } l < x < c-\frac{w}{2} \\ \frac{u-x}{u-\frac{w}{2}-c}, \text{ якщо } c+\frac{w}{2} < x < u \\ 1, \text{ якщо } c-\frac{w}{2} < x < c+\frac{w}{2} \end{cases} \quad (3.10)$$

де l , u - це відповідно нижня та верхня межі області визначення, c - це центр та w - ширина верхньої сторони симетричної трапеції. Аналогічно було сформовано нечіткі множини для усіх інших параметрів.

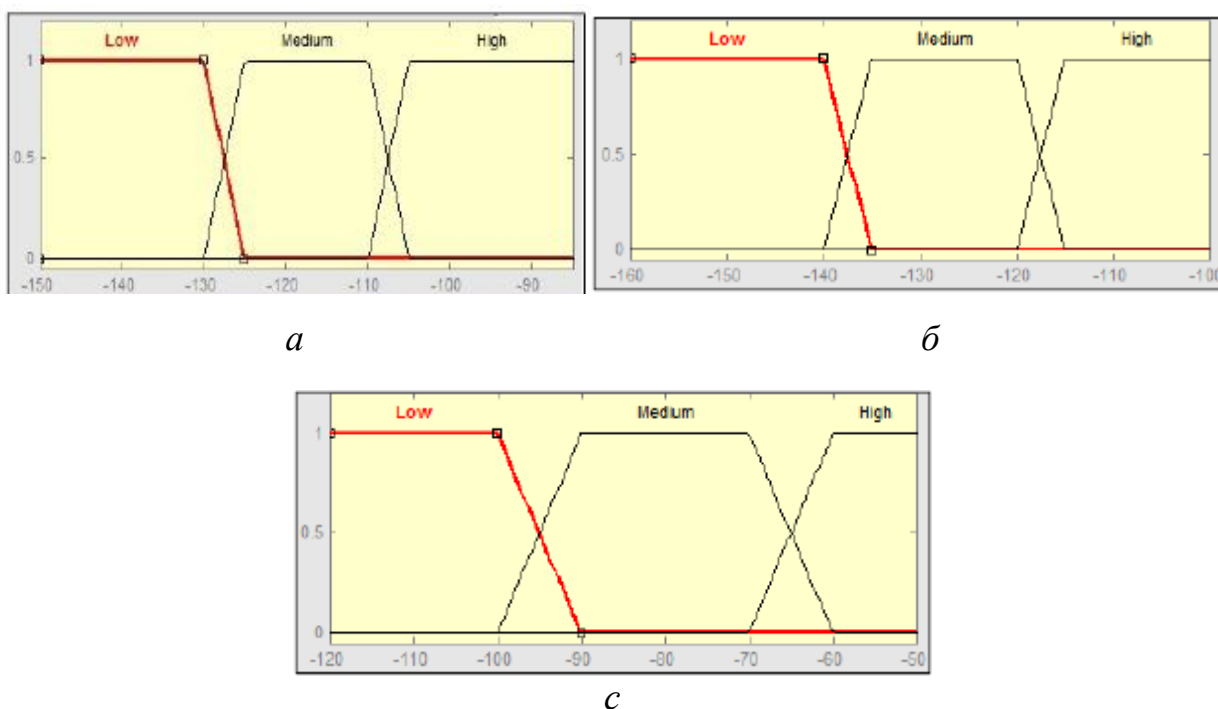


Рисунок 3.5 - Нечіткі множини для RSS: *а* - у мережі WWAN, *б* - WMAN, *с*- WLAN

Існують дві базові моделі систем нечіткої логіки - Мамдані та Сугено. Основна відмінність між ними полягає у різних способах завдання значень вихідної змінної у правилах, що формують базу знань: у системах типу Мамдані значення вихідної змінної завдаються нечіткими термами, в системах типа Сугено - як лінійна комбінація вхідних змінних [11]. В розробленому алгоритмі усі параметри обробляються у паралельних блоках фаззі-логіки FIS (Fuzzy Inference System) системи Сугено, що у середовищі MATLAB мають наступний вигляд:

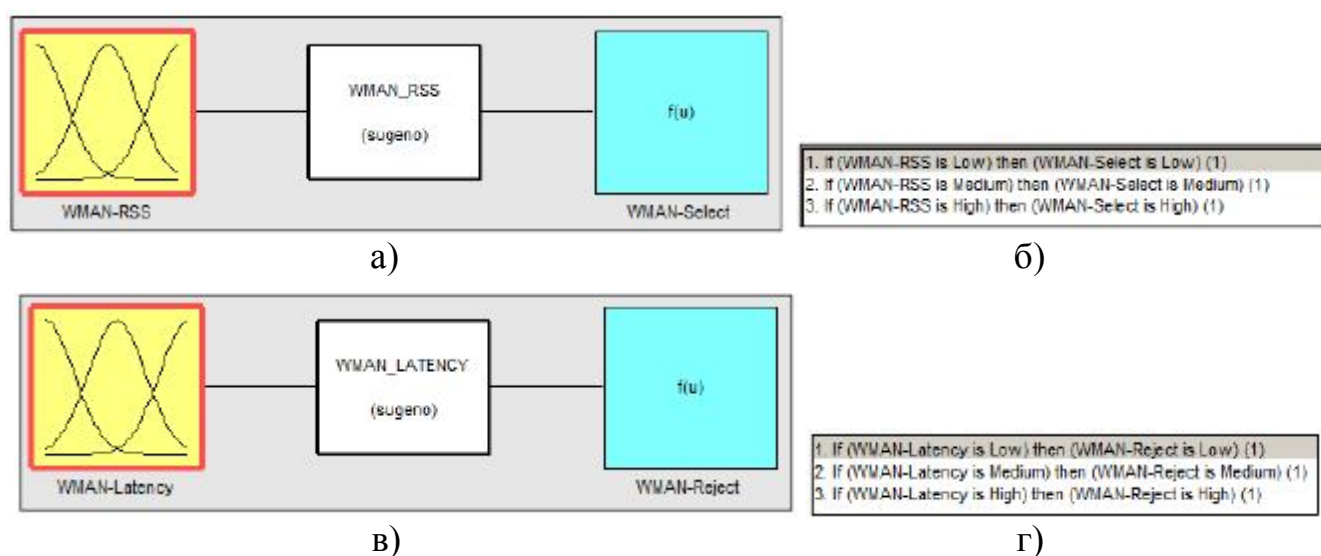


Рисунок 3.6 - FIS типу Сугено для мережі WMAN:

a (в) - вигляд системи для RSS (затримки), *б(г)* - набір правил оцінки RSS(затримки)

Розрахунок VHO-фактору, значення якого запускає хендовер, проводиться за наступною схемою (див.рис.3.7): спочатку усі значення критеріїв хендовера обробляються у паралельних фаззі-регуляторах FLC-1 та FLC-2, вихідні параметри з яких поступають на фаззі-регулятор FLC-4, що і видає кінцеве значення VHO-фактору.

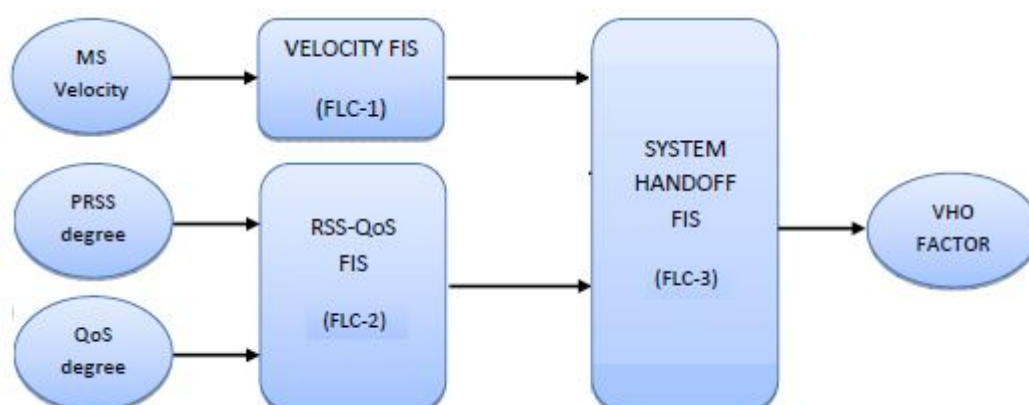
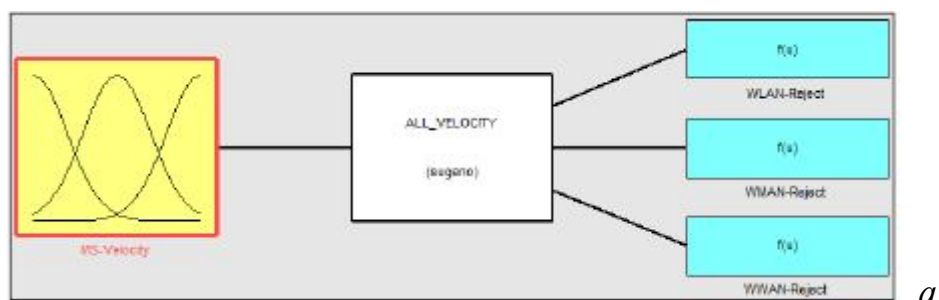
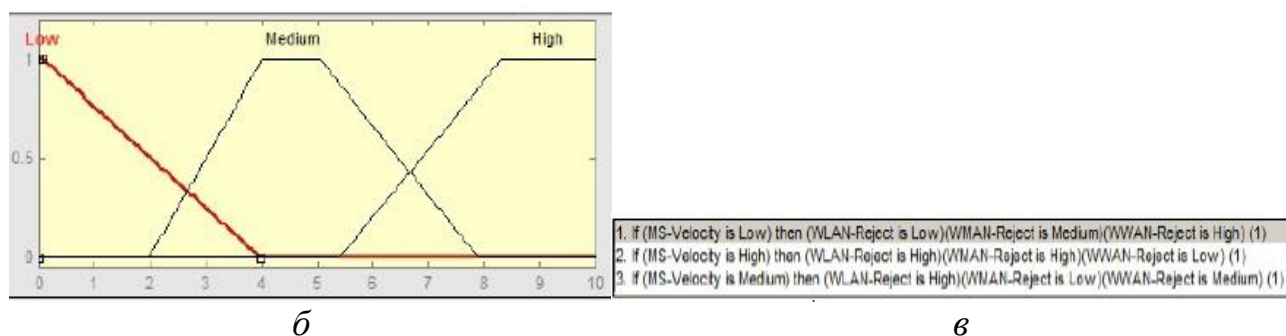


Рисунок 3.7 - Фаззі-регулятори модуля ініціації хендовера

Для параметра швидкості пересування застосовується фаззі-система Сугено, що має наступний вигляд (див.рис.3.8): у неї один вхід, що має трапецеїдальні функції приналежності та три виходи з трьома одноелементними функціями приналежності, що показують імовірність відмови у певній мережі при певній швидкості пересування МС. Для оцінки QoS і RSS застосовується FIS типу Мамдані (див.рис.3.9). А загальна FIS для VHO-фактору наведена на рис.3.10.



а



б

в

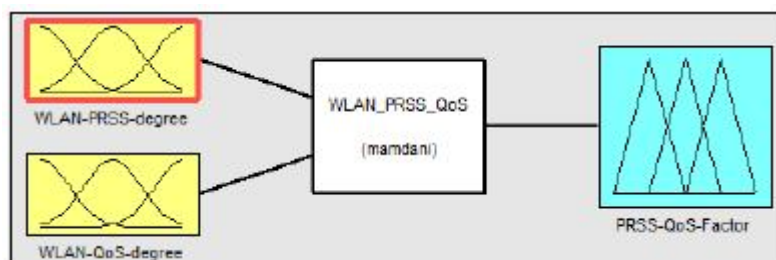
Рисунок 3.8 - FIS типу Сугено параметра V (а - загальний вигляд, б - функції приналежності вхідного параметру, в - нечіткі правила)

Результат на виході системи, що зображено на рис.14, дефазифікується за центроїдою схемою:

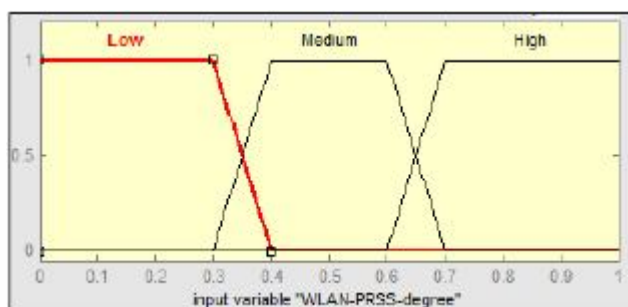
$$\text{VHO-factor} = \frac{\int y \cdot \mu_{\Sigma}(y) dy}{\int \mu_{\Sigma}(y) dy} = [0, 1] \quad (3.11)$$

Отриманий результат порівнюється з пороговим значенням, яке у даному дослідженні прийнято 0,75. Якщо значення перевищує порогове, то запускається алгоритм вибору мережі, який на базі попередніх розрахунків ранжує мережі за алгоритмом TOPSIS:

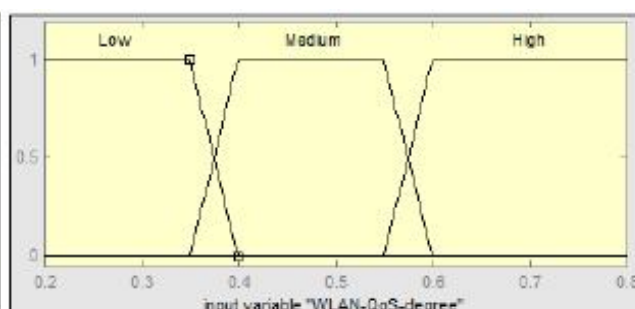
1. Формування матриці рішень A $m \times n$, що містить набір альтернативних рішень зі значеннями критерію для них:



а)



б)



в)

Рисунок 3.9 - FIS типу Мамдані параметра V (а - загальний вигляд, б - функції приналежності вхідного параметру, в - нечіткі правила)

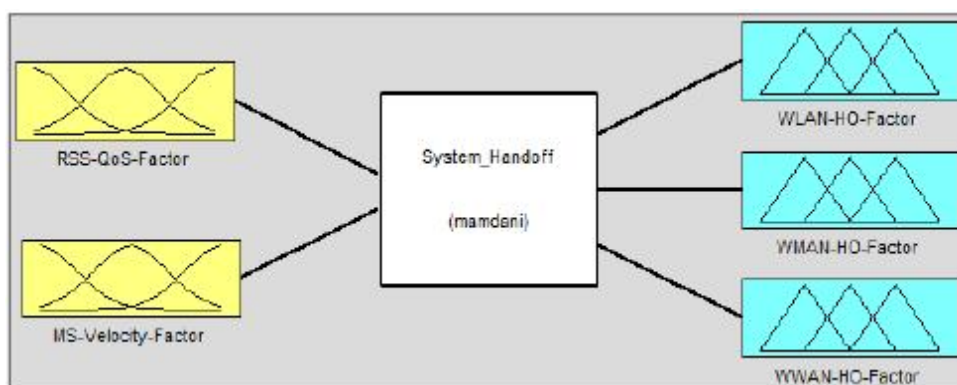


Рисунок 3.10 - FIS обчислення фактору VHO

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ A_2 & d_{21} & d_{22} & \vdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_m & d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{2n} \end{matrix} \quad (3.12)$$

де A_1, A_2, \dots, A_m - альтернативні мережі-кандидати для хендовера; C_1, C_2, \dots, C_n - критерії. Елемент матриці $d_{i,j}$ - це значення критерію для певної мережі-кандидата.

2. Нормування матриці рішень за наступним рівнянням:

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_{ij}}} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (3.13)$$

де r_{ij} - це нормоване значення елемента d_{ij} .

3. Побудова зваженої нормованої матриці рішень, кожний елемент якої дорівнює

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_{ij} \quad (3.14)$$

4. Побудова найкращого та найгіршого рішення:

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) = \{(\max_i v_{ij} \mid j \in C_B), (\min_i v_{ij} \mid j \in C_C)\} \quad (3.15)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) = \{(\min_i v_{ij} \mid j \in C_B), (\max_i v_{ij} \mid j \in C_C)\} \quad (3.16)$$

де C_B і C_C - це відповідно множини прибуткових та витратних типів критерію.

5. Розрахунок відстані до найкращого та найгіршого рішення:

$$S_i^+ = \sqrt{(v_{ij} - v_i^+)^2} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (3.17)$$

$$S_i^- = \sqrt{(v_{ij} - v_i^-)^2} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (3.18)$$

6. Розрахунок відносної близькості до найкращого рішення:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad i=1,2,\dots,m \quad (3.19)$$

7. Ранжування рішень: альтернативні рішення сортуються за значенням відносної близькості до найкращого рішення. Обирається мережа з найвищим значенням C_i .

4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ

Моделювання системи VHO здійснювалося у пакеті MATLAB. Алгоритм роботи моделі наведено на рис.3.2-3.3. Для реалізації фаззи-систем використовується спеціальний інструментарій “Fuzzy Logic”. Вихідними даними є параметри поточної мережі та сценарій пересування мобільного вузла:

Таблиця 4.1 - Вихідні дані імітаційного моделювання

Параметри	Стан 1	Стан 2
Тип	WLAN	WLAN
Клас трафіку	потоківий	потоківий
Швидкість пересування	0 («низька»)	1 («низька»)
Відліки сигналу (RSS), дБм	-58.5, -55.3, -57.6, -59.8	-90.5, -92.7, -97.3, -98.9
Прогнозоване значення RSS, дБм	-62.21 («високе»)	-102.63 («низьке»)
Затримка, мс	100 («низька»)	120 («середня»)
Джитер, мс	10 («низький»)	20 («середній»)
Втрати пакетів, на 10^6 байт	2 («низькі»)	4 («середні»)
Пропускна спроможність, Мбіт/с	130 («висока»)	30 («низька»)

Сценарій моделювання: спочатку абонент знаходиться вдома і підключений до власної WLAN-мережі дивиться відео з сайту (стан 1). Потім абонент виходить на вулицю (стан 2) і рухається зі швидкістю 2 км/год до автобусної зупинки: попередня мережа вже недоступна, але доступні 3 інші, для них отримано вище описаний набір параметрів (див.табл.4).

Таблиця 4.2 - Параметри наявних мереж у стані 2

Параметр	WLAN	WMAN	WWAN
PRSS, дБм	-114.05	-137.40	-116.10
D, мс	130	20	10
J, мс	27	5	4
P, на 10^6 байт	3	4	3
B, Мбіт/с	70	60	1.5
L, %	20	30	40
S (1-10)	1	5	7
C (1-10)	3	4	7
V	2		

Покриття мереж, трафік та траєкторія пересування абонента моделюються у

симуляторі RENE (Rundamental Network Emulator). Вважається, що абонент пересувається прямолінійно, а інтенсивність трафіку відповідає розподілу Пуассона.

Модель згасання радіосигналу - це модель Окамура-Хата з врахуванням релєєвського завмирання сигналу, зон радіотіні, а також коефіцієнту посилення антени:

$$G = G_D + G_A + G_F + G_R \quad (4.1)$$

$$G_D = 10 * \eta * \log_{10} d + C \quad (4.2)$$

де d - це відстань від передавача до приймача, η - показник згасання, C - постійна складова, що залежить від частоти, розміру антени та інших фізичних параметрів [12].

За алгоритмом ініціації розраховуються значення вагових коефіцієнтів та розраховуються нормовані значення параметрів:

Таблиця 4.3 - Нормовані параметри наявних мереж у стані 2

Параметр	WLAN	WMAN	WWAN	w
PRSS	0.42	0.65	0.65	0.3199
D	0.65	0.25	0.25	0.0120
J	0.95	0.65	0.25	0.0574
P	0.25	0.65	0.65	0.0548
B _s	0.45	0.80	0.65	0.1957
V	0.03	0.73	0.94	0.1337
L	0.01	0.01	0.50	0.1337
S	0.25	0.50	0.75	0.0607
C	0.25	0.36	0.75	0.0320

Результати моделювання наведено у додатку Б. Як видно з рис.Б.1, якщо абонент рухається повільно, то для розмовного та потокового типів трафіку більш переважною є WWAN мережа, а для інтерактивного і фоновому - WLAN. Якщо ж абонент рухається швидше ($v = 5$ м/с), то у WWAN та WMAN мереж пріоритет для всіх типів трафіку буде майже однаковий.

Графіки рисунку Б.2 відображають процент з'єднань різних типів бездротових

мереж. Як видно із графіків, для розмовного трафіку на невисоких швидкостях найбільш часто використовується WLAN мережа (98% часу), на середніх швидкостях - мережа WMAN (62%), та на високих швидкостях найбільше часу використовується WWAN мережа (65% часу). Для інтерактивного трафіку картина схожа, проте для фонового та потокового 90% часу майже на усіх перевірених швидкостях найбільший процент з'єднань мають WLAN мережі.

Графік рис. Б.3 показує імовірність розриву зв'язку в залежності від інтенсивності трафіку у соті для двох алгоритмів хендовера - запропонованого та заснованого на вимірюванні RSS. Як видно із графіку, для запропонованої схеми така імовірність на 10-12% нижча за традиційні підходи.

Імовірність відмови в обслуговуванні при надходженні нових викликів відображено на графіку рис. Б.4. З нього виходить, що із зростанням інтенсивності трафіку така імовірність зростає, проте до певної межі, після якої настає перенасичення. І хоча у крайніх межах інтенсивності імовірність відмови запропонованого і традиційного алгоритмів майже співпадає, проте в усіх проміжних точках запропонований метод має вигреш у 8-10%.

Коефіцієнт хендовера при запропонованій схемі на 20-30% нижче, ніж при використанні традиційної техніки хендовера, що зображено на графіку рис. Б.5.

На графіку рис. Б.6 порівняно традиційну та запроповану схеми за процентом з'єднань у певних типах мереж в залежності від інтенсивності трафіку: запропонований алгоритм VHO дозволяє більш ефективно перерозподіляти трафік між мережами, при цьому більш задіяною є WWAN-мережа. Цей показник відображає вигідність хендовера для оператора, оскільки мережі WWAN та WMAN є більш високовартісними, ніж WLAN.

ВИСНОВКИ

У гетерогенній мережі дуже важливим є забезпечення ефективного використання її ресурсів та прозорого переміщення абонентів через неї. Це реалізується завдяки оптимальній процедурі вертикального хендовера, адже неефективний хендовер може призвести до втрати з'єднання, до незадовільного рівня QoS або значних витрат абонентів.

У наведеній науковій роботі запропоновано інтелектуальний мультикритеріальний алгоритм ініціації хендовера та вибору мережі призначення з використанням паралельних фаззі-регуляторів, а також механізму передбачення рівня RSS і MCDM-методіки TOPSIS. Запропонований алгоритм дозволяє впровадити диференціацію в обслуговуванні на базі типу трафіку та, згідно з даними результатів моделювання, дозволяє знизити імовірність розриву з'єднання на 10-12% відносно традиційної техніки хендовера, на 8-10% знизити імовірність відмови в обслуговуванні нових викликів та на 20-30% скоротити кількість хендоверів, що є дуже істотним с точки зору енергетичної ефективності та використання мережних ресурсів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Состояние рынка мобильного широкополосного доступа «В ритме технологий, соединяющих общество» - отчет фирмы “Ericsson”, 2012.
2. Соловйов М.С., Воропаева В.Я. Забезпечення показників якості в конвергентних мережах GSM/Wi-Fi при впровадженні нових сервісів // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 16 (147). - Донецьк-2009. – 248 с., С. 22-28.
3. Kaleem, Faisal. VHITS: Vertical Handoff Initiation and Target Selection in a Heterogeneous Wireless Network / FIU Electronic Theses and Dissertations, - Флорида, США, 2012.
4. Signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks / A. H. Zahran, B. Liang and A. Saleh./ Mob.Netw.Appl., vol. 11., 2006 - с. 625-640.
5. Velocity adaptive vertical handoff on multifrequency system. Li Hua, M. H. Kabir and T. Sato / IEEE 20th International Symposium Personal, Indoor and Mobile Radio Communications/ 2009- с.773-777.
6. A user-centric analysis of vertical handovers A. Calvagna and G. Di Modica / Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots. Филадельфия, США, 2004, с. 137-146.
7. A Traveling Distance Prediction Based Method to Minimize Unnecessary Handovers from Cellular Networks to WLANs Xiaohuan Yan, N. Mani and Y. A. Cekercioglu / Communications Letters, IEEE, vol. 12/ 2008 - с. 14-16.
8. VIKOR method for vertical handoff decision in beyond 3G wireless networks. J. R. Gallardo-Medina, U. Pineda-Rico and E. Stevens-Navarro / Computing Science and Automatic Control, CCE, 2009 6th International Conference / 2009 - с. 1-5.
9. Performance comparison between MADM algorithms for vertical handoff in 4G networks. J. D. Martinez-Morales, U. Pineda-Rico and E. Stevens-Navarro / 7th

International Conference “Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control (CCE)”, 2010 - с. 309-314.

10. Game Theory — Based Network Selection: Solutions and Challenges / Ramona Trestian, Olga Ormond, and Gabriel-Miro Muntean, Member, IEEE / IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS - 2012.
11. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: Издательство Винницкого государственного технического университета, 2001. – 198с.
12. M. Hata, (1980) “Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service”, IEEE Transaction on Vehicular Technology - с.317-325.

ДОДАТОК А - КЛАСИФІКАЦІЙНЕ ДЕРЕВО ПРОЦЕДУРИ ХЕНДОВЕРА

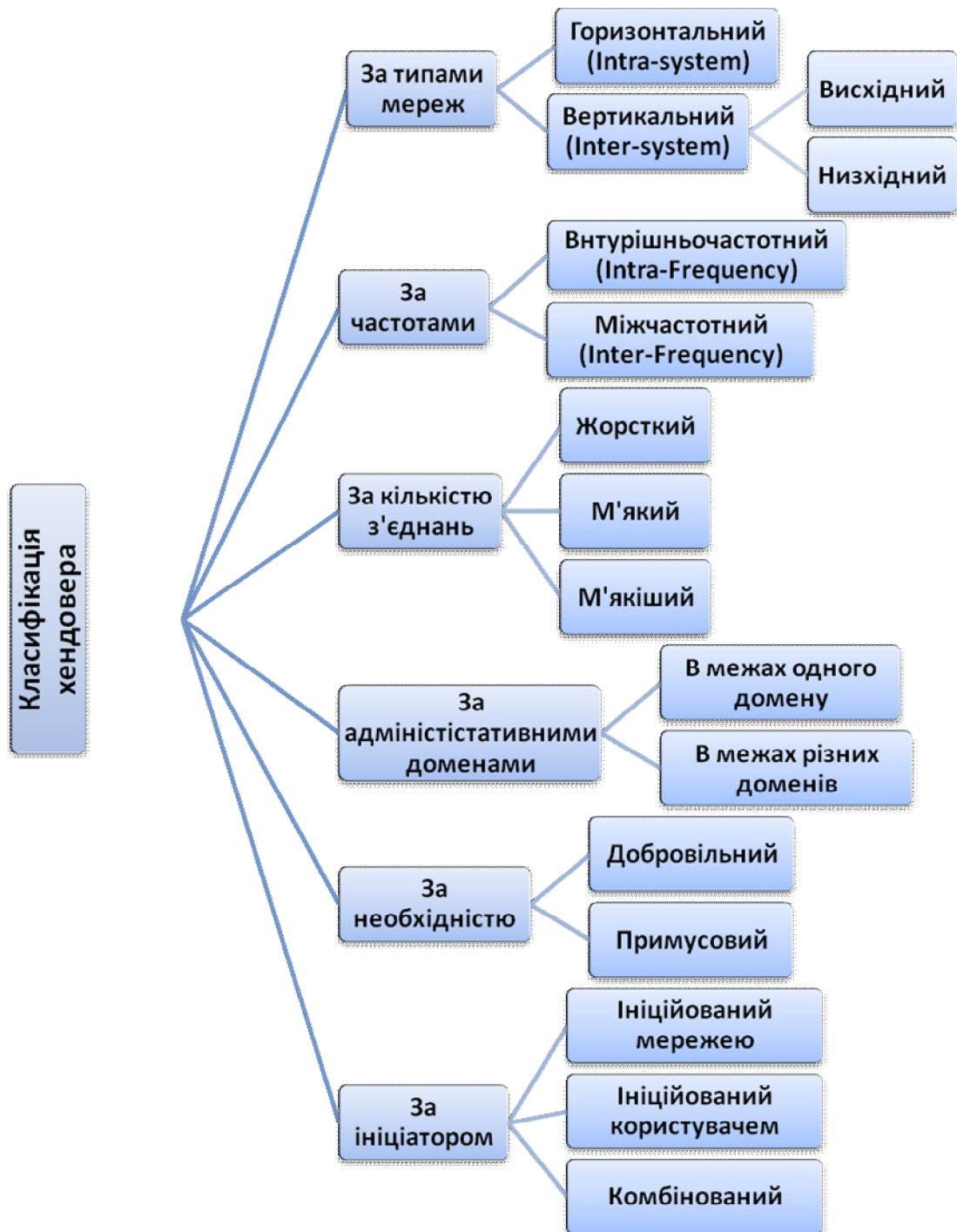


Рисунок А – Класифікаційне дерево хендвера

ДОДАТОК Б – РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

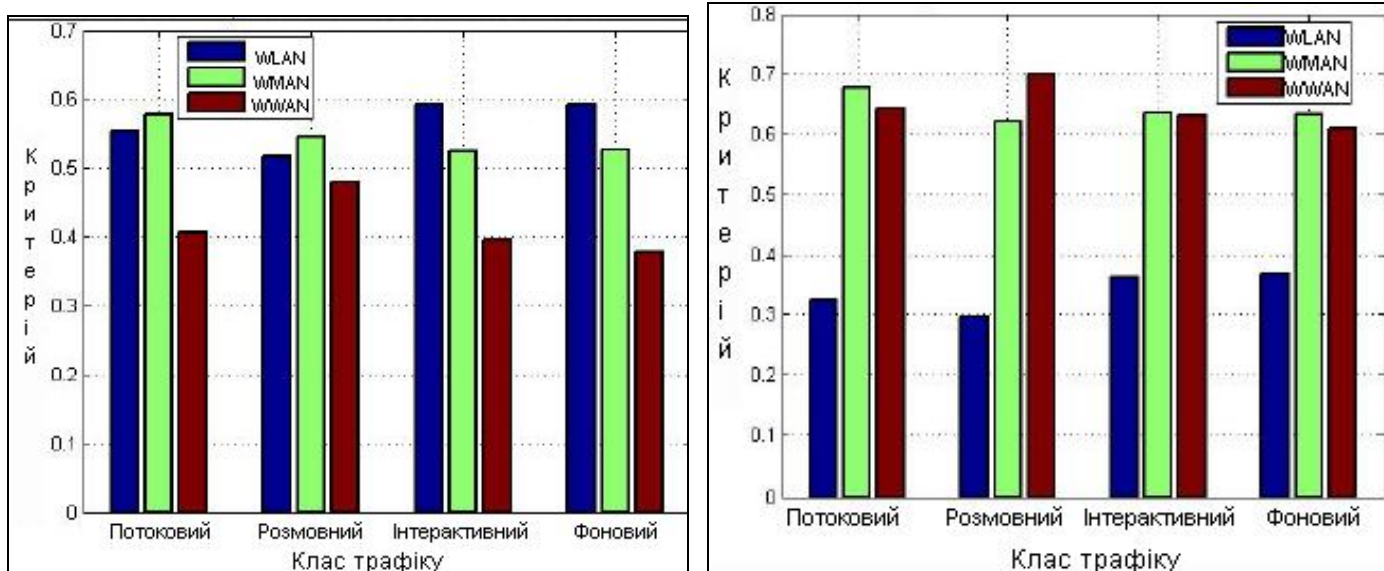
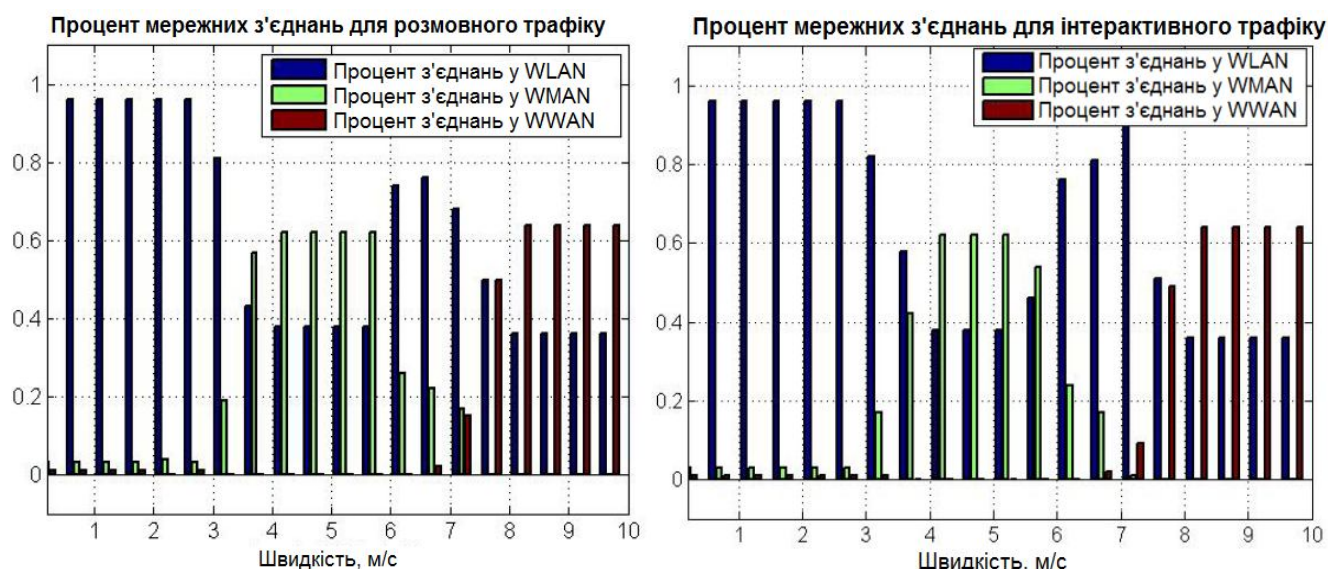
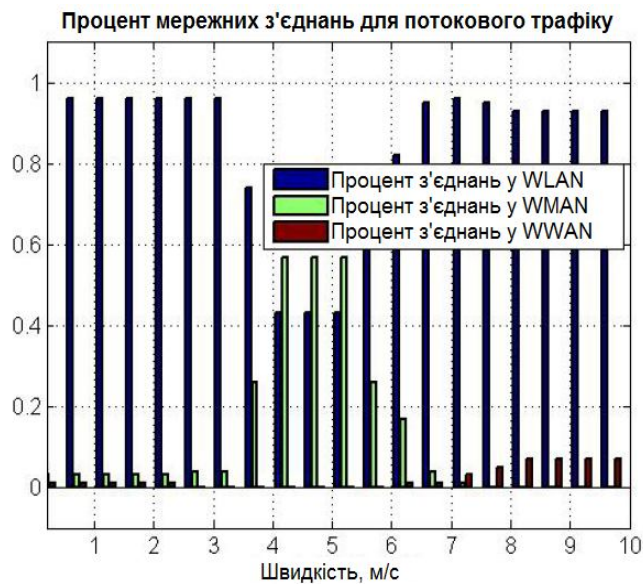


Рисунок Б.1 - Значення критерію TOPSIS для різних класів трафіку ($v=1$ м/с ліворуч і $v=5$ м/с праворуч)

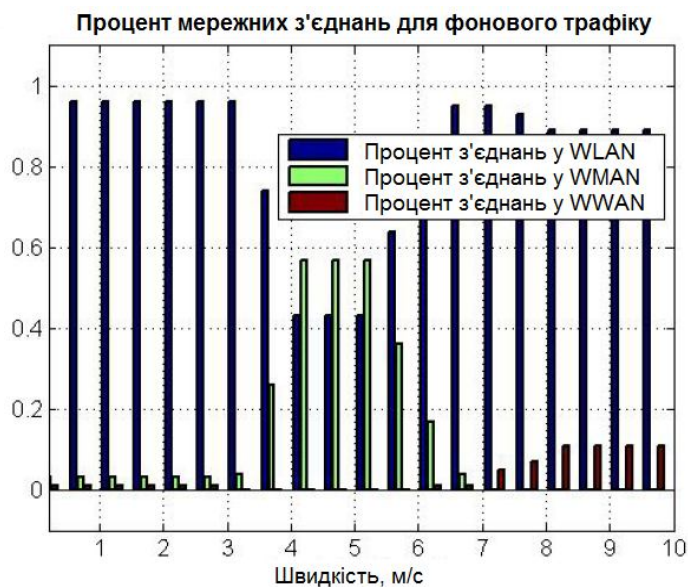


1)

2)



3)



4)

Рисунок Б.2 - Процент з'єднань для різних типів трафіку в залежності від швидкості пересування (1 - розмовний, 2 - інтерактивний, 3 - потоковий, 4 - фоновий)

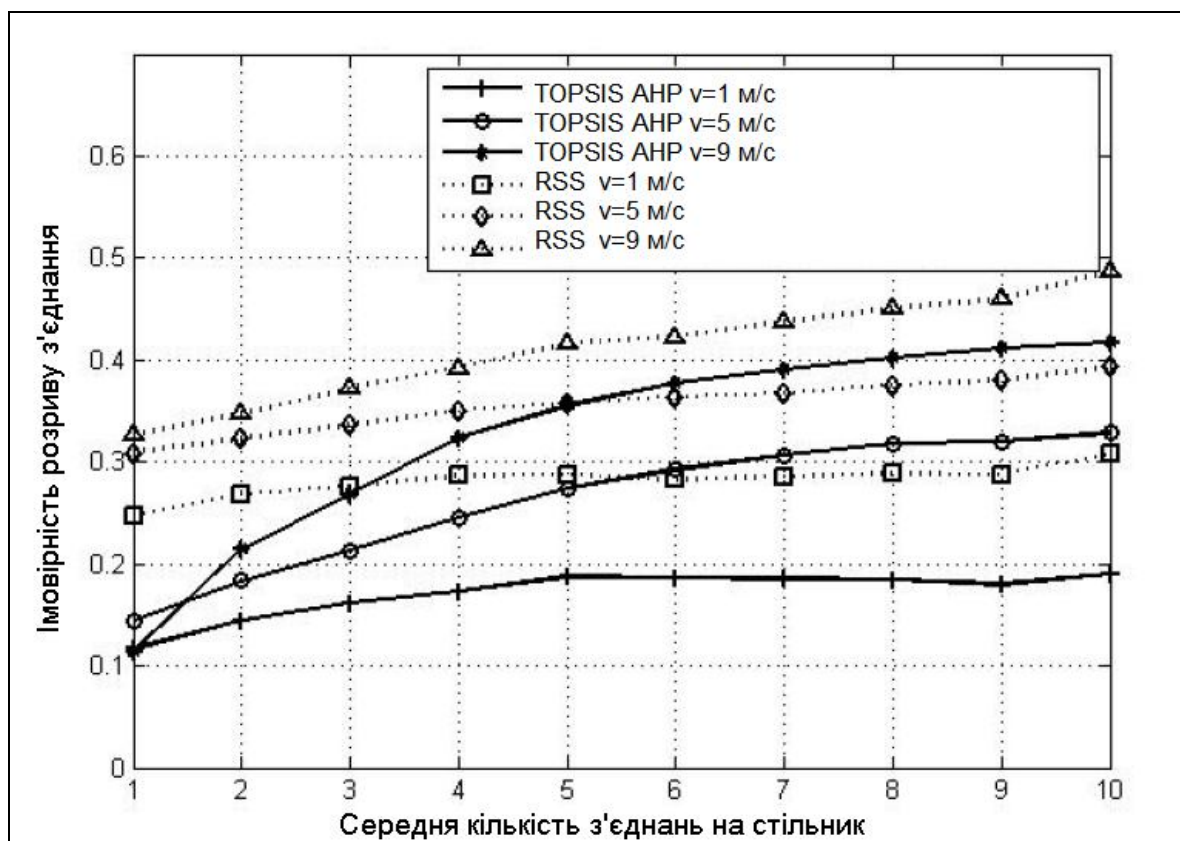


Рисунок Б.3 - Імовірність розриву зв'язку в залежності від інтенсивності трафіку

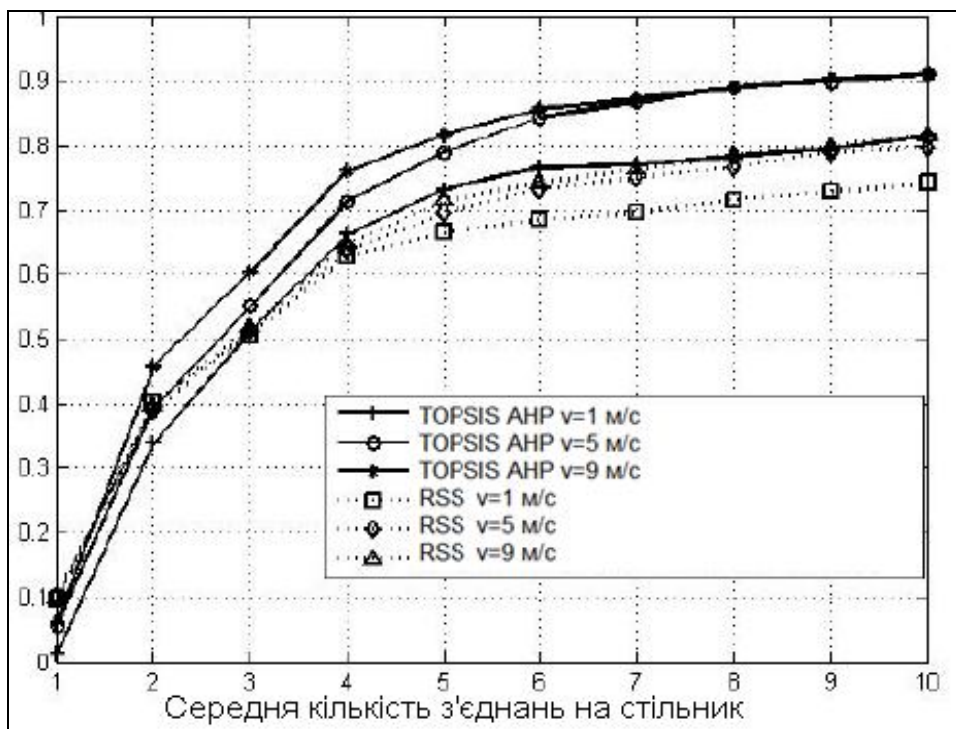


Рисунок Б.4 - Імовірність відмови хендовера в залежності від інтенсивності трафіку

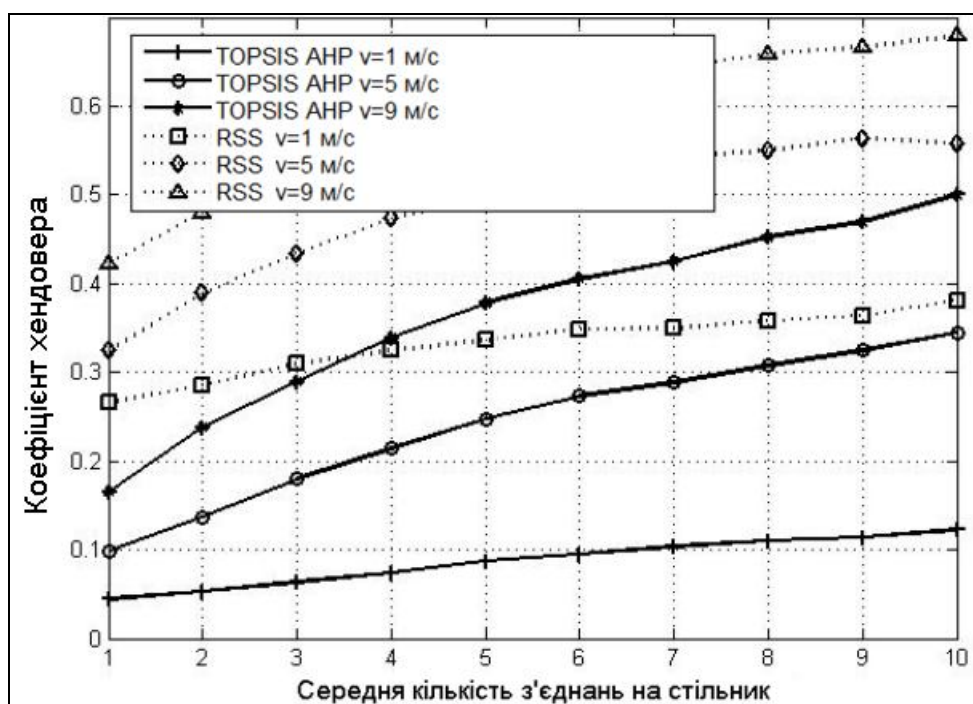


Рисунок Б.5 - Коефіцієнт хендовера в залежності від інтенсивності трафіку

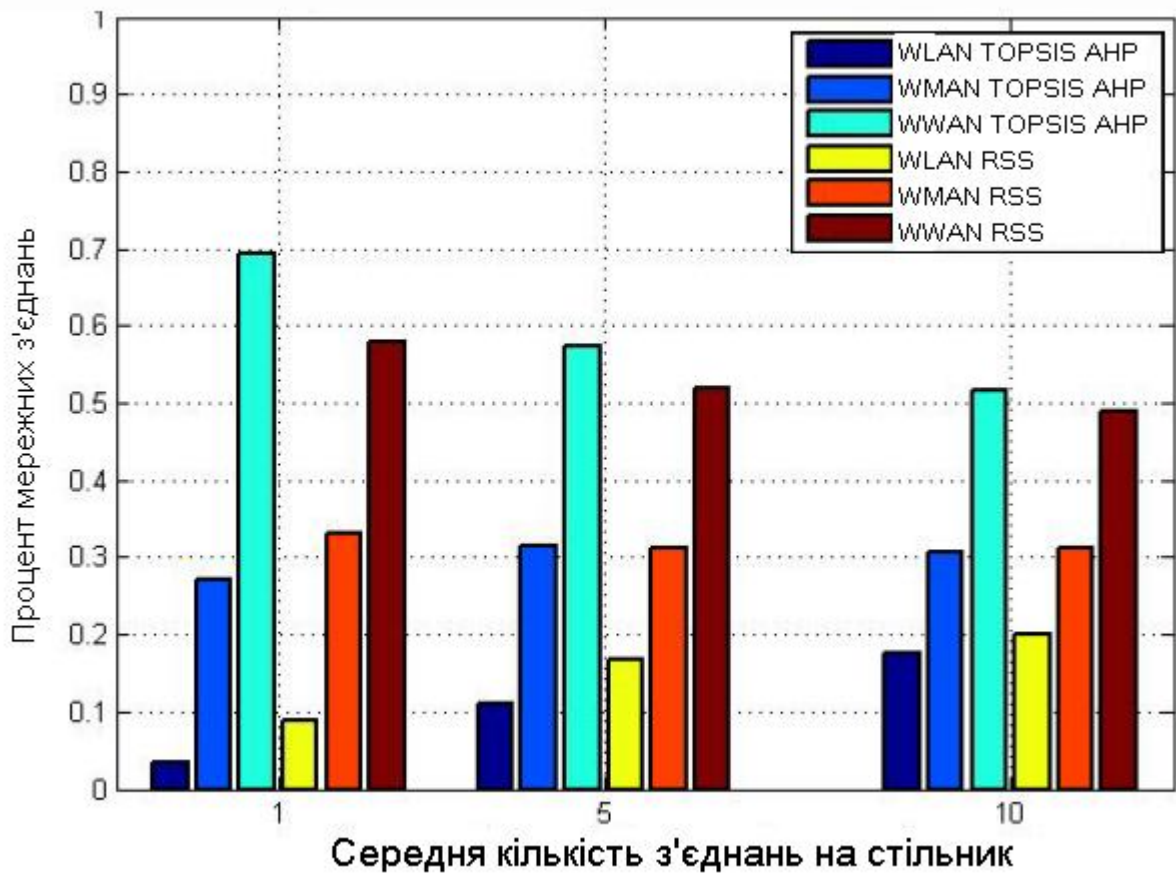


Рисунок Б.6 - Кількість з'єднань за різними типами мереж в залежності від інтенсивності трафіку