

УДК 621.396.49

В.Я. Воропаєва (канд. техн. наук, доц.), А.Д. Гришаєва
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк
кафедра автоматики і телекомунікацій
e-mail: alyona.grishaeva@gmail.com, voropayeva@donntu.edu.ua

АЛГОРИТМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРА У ГЕТЕРОГЕННІЙ БЕЗДРОТОВІЙ МЕРЕЖІ

У роботі наведено алгоритм інтелектуального вертикального хендвера у гетерогенній бездротовій мережі, що є мультикритеріальним (враховує якість та вартість обслуговування мережі, швидкість пересування абонента та його вимоги) та використовує апарат фаззи-логіки для обробки даних при ініціації хендвера та виборі мережі призначення. Алгоритм дозволяє підтримувати безшовне пересування мобільних абонентів та раціональне використання ресурсів операторів, а також підтримувати якість обслуговування для кінцевих користувачів та зменшувати їх витрати.

Ключові слова: вертикальний хендвер, гетерогенна бездротова мережа, фаззи-логіка, MADM, TOPSIS.

Загальна постановка проблеми

Сучасний ринок мобільного зв'язку характеризується широким спектром технологій радіодоступу, розповсюдженням мобільних пристроїв із множинними мережними інтерфейсами, а також експоненційним зростанням обсягу мобільного трафіку, який за прогнозами компанії «Ericsson» у 2017 році у світі складатиме близько 8000 петабайт щомісячно [1]. Зростають також і вимоги користувачів до якості та набору інфокомунікаційних послуг, а доступ до них повинен забезпечуватися «завжди і усюди», згідно з концепцією «постійного кращого з'єднання» (Always Best Connected, ABC).

Проте зони покриття бездротових мереж жодного із представлених на ринку України операторів не є досконалими, а при розгортанні більш високошвидкісних мереж нового покоління у національних масштабах перед операторами постають проблеми обмеженого фінансового та радіочастотного ресурсу, складності в отриманні ліцензії. Одним із варіантів вирішення такої проблеми може стати об'єднання мережних інфраструктур різних операторів, побудованих, зокрема, за різними технологіями радіодоступу, у єдину гетерогенну мережу, зони покриття якої перекриваються.

Задача оптимізації мережі стільникового зв'язку шляхом оптимальної кластеризації вже розглядалася авторами для умов певного мобільного оператора [2]. Також досліджувалися питання забезпечення показників якості в конвергентних мережах GSM/Wi-Fi [3] та в домені пакетної комутації мобільних мереж третього покоління [4]. Але в умовах гетерогенності та сумісної роботи багатьох операторів пріоритетною задачею стає ефективне управління спільними радіоресурсами і забезпечення прозорого пересування абонента, що включає у себе такі механізми як підтримку мобільності, хендвер, забезпечення QoS, систему безпеки та тарифікацію. Хендвер у гетерогенній мережі є ключовою функцією, що дозволяє абоненту безшовно пересуватися у мережі. При цьому горизонтальний хендвер є достатньо дослідженою процедурою та здебільшого базується на рівні сигналу, що приймається (Received Signal Strength, RSS). Тоді як вертикальний хендвер є більш складною процедурою та потребує дослідження з метою оптимізації використання ресурсів мереж та максимізації якості надаваних послуг та задоволеності користувачів.

© Воропаєва В.Я., Гришаєва А.Д. 2013

Слід зазначити, що IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) у 2008 році прийняв стандарт 802.21 «Хендовер, незалежний від середовища передавання» («Media Independent Handover») [5], головною метою якого є оптимізація механізмів підтримки мобільності у гетерогенних мережах. Проте цей стандарт є досить загальним описом принципів побудови системи і не містить конкретної алгоритмічної або апаратної реалізації: усі тонкощі впровадження, включаючи алгоритм прийняття рішення та здійснення хендовера, залишаються на розсуд інженерів-розробників.

Загальний огляд існуючих алгоритмів та підходів до реалізації вертикального хендовера надають Маркес-Барія, Карлос Калафат та інші [6], а також Зекрі, Жубер та Зеглаж [7]. Простий хендовер на базі RSS намагаються адаптувати до гетерогенних мереж Захран, Ліанг та Сале [6], а Нгуен-Вонг враховує вимоги користувача при виконанні хендовера [9]. Обробку вхідних параметрів за математичними алгоритмами на базі функцій вартості та марківських процесів здійснено у роботах Стівенса-Наварро [10] та Інга, Юна та ін. [11]. Багатокритеріальні алгоритми прийняття рішення використовуються у роботі Кассара, Кервела та Пуйоля [12].

Постановка задач дослідження

Метою дослідження є покращення якості надання послуг мобільного зв'язку за рахунок ефективного використання ресурсів гетерогенної бездротової мережі та оптимальної процедури вертикального хендовера.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) сформулювати задачу вибору мережі призначення вертикального хендовера;
- 2) обрати параметри та розробити критерій ініціації вертикального хендовера;
- 3) розробити алгоритм вибору мережі, до якої буде здійснено передачу з'єднання.

Вирішення завдання та результати дослідження

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 пропускну здатності мережі), 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 (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 вартість, завантаженість мережі, доступна пропускна здатність, безпека та переваги користувачів також мають бути враховані.

Вертикальний хендовер (Vertical Handover, VHO) здійснюється у три етапи [10]: 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.

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, який 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} – мінімальний ресурс, необхідний для задоволення вимог QoS користувача, N_m – це кількість користувачів у мережі m . Коли усі ресурси мережі зайняті 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) [13].

На підставі викладеного вище сформулюємо загальну проблему вибору мережі при вертикальному хендвері у наступному вигляді:

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

за умови

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

де

$$v_m = [r_{m1}^{Req}, r_{m1}^{Req}, \dots, r_{mN}^{Req}] \text{ при } m = 1, \dots, M.$$

Для алгоритму вертикального хендвера запропоновано [13] використовувати механізм фаззі-логіки, що себе зарекомендував як простий у впровадженні та розумінні апарат управління. Головною перевагою розробленого алгоритму є використання паралельних фаззі-регуляторів, що дозволяють у значній мірі скоротити кількість нечітких правил, а отже розвантажити обчислювальну систему.

Функціональна схема розробленої системи управління хендвером наведена на рис. 1.

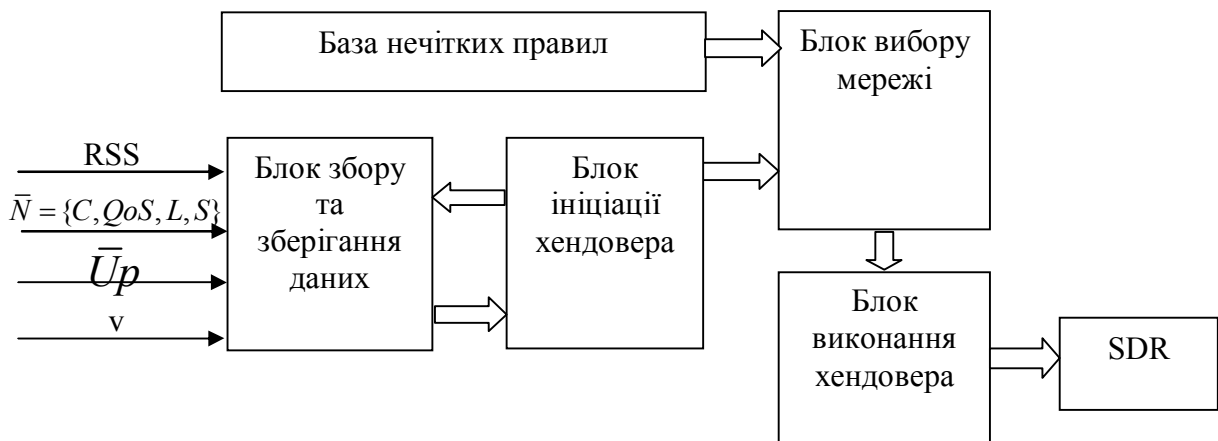


Рисунок 1 - Функціональна архітектура системи управління вертикальним хендвером

Система складається з блоків збору та зберігання даних, ініціації хендовера, вибору мережі та виконання хендовера. Блок збору даних відповідає за першу фазу вертикального хендовера та за допомогою безперервного сканування радіочастотного діапазону і спілкування з мережами доступу збирає параметри, необхідні для обробки у наступному блоці ініціації хендовера: RSS, швидкість пересування МС (v), параметри QoS у мережі, вартість послуг (C) у мережі, а також її завантаженість (L) та безпека (S), пріоритети користувача (U_p). Швидкість пересування можна оцінювати за допомогою, наприклад, GPS-модулю, вбудованого у більшість сучасних мобільних пристроїв.

Блок ініціації хендовера постійно запитує параметри з попереднього блоку, аналізує їх та вирішує, чи є хендовер у даний момент необхідним шляхом перевірки наступних умов запуску VHO:

- 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 параметри QoS поточного з'єднання погіршуються;
- при значному погіршенні або повній втраті сигналу від поточної мережі.

Блок ініціації хендовера складається з функціональних модулів прогнозування RSS за алгоритмом GPT (Grey Prediction Theory) та оцінки необхідності хендовера (VHO-фактору) за допомогою паралельних фаззи-регуляторів, що функціонують на базі нечітких «if - then» правил з урахуванням усіх вище згаданих параметрів. Прогнозування рівня сигналу [14] необхідно для зменшення імовірності втрати виклику в умовах логнормального згасання сигналу у гетерогенному бездротовому середовищі.

Блок вибору мережі використовує MADM-алгоритм TOPSIS (Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) для ранжування та вибору мережі призначення хендовера.

В даній роботі пропонуються алгоритми роботи блока ініціації та вибору мережі, процеси збору даних та апаратна реалізація не розглядаються, проте можна рекомендувати будувати таку систему на базі SDR-пристроїв. Після вибору мережі управління передається на блок виконання хендовера, який генерує команди реконфігурування SDR-пристрою.

Загальний вигляд запропонованого алгоритму VHO наведено на рис. 2. Блок-схеми роботи модулів оцінки необхідності хендовера та вибору мережі наведено на рис. 3. Результатом виконання алгоритму ініціації хендовера є значення VHO-критерію, а результатом виконання модулю вибору мережі є рішення щодо мережі призначення хендовера.

Розрахунок вагових коефіцієнтів дозволяє відобразити важливість того чи іншого параметра для певного типу трафіку. Розрахунок здійснюється за схемою аналітичного ієрархічного процесу (Analytic Hierarchy Process, AHP).

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 найвищий рівень безпеки та найбільша вартість.

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 [15]. В розробленому алгоритмі усі параметри обробляються у паралельних блоках фаззі-логіки FIS (Fuzzy Inference System) системи Сугено.

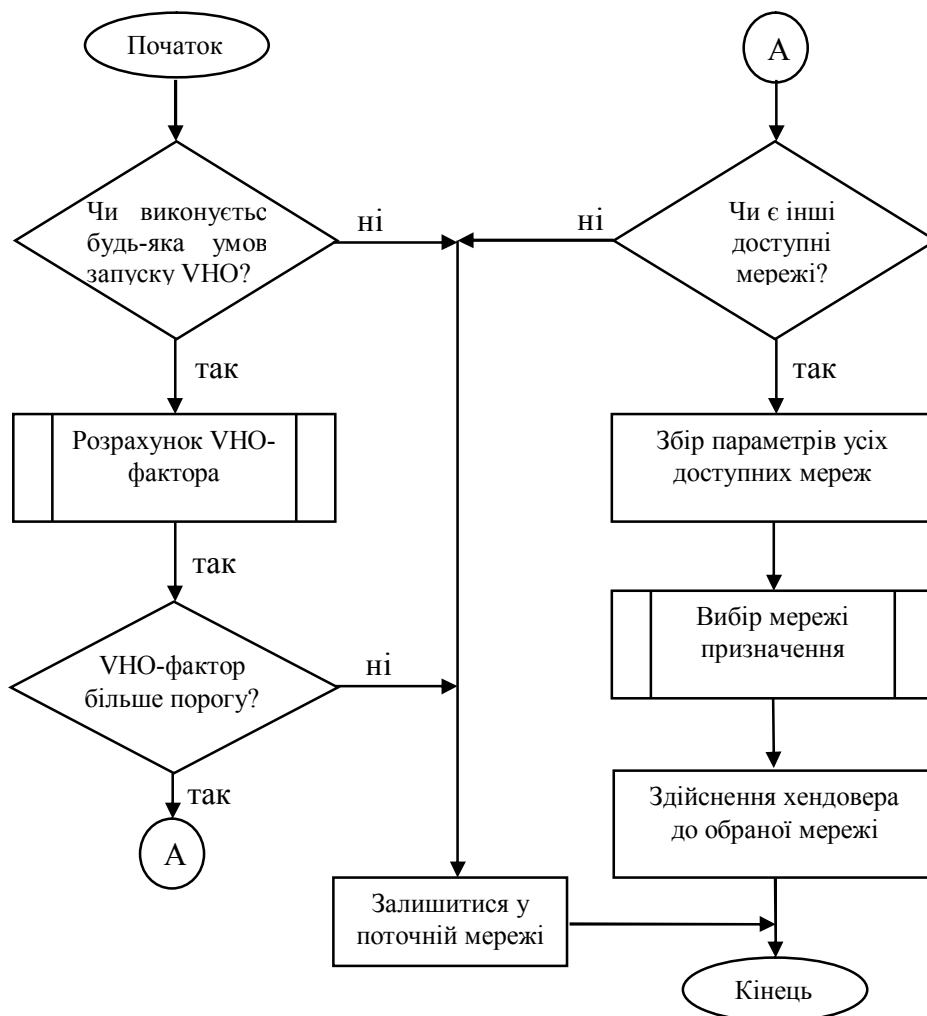


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритму VHO

Розрахунок VHO-фактору, значення якого запускає хендвер, проводиться за наступною схемою (рис.4): спочатку усі значення критеріїв хендвера обробляються у паралельних фазі-регуляторах FLC-1 та FLC-2; вихідні параметри з них поступають на фаззі-регулятор FLC-3, що і видає кінцеве значення VHO-фактору. Результат на виході системи дефазифікується за центроїдною схемою:

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

Для параметра швидкості пересування застосовується фаззі-регулятор FLC-1 типу Сугено: у нього 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 фаззі-регулятор FLC-2 типу Мамдані, вхід FIS для QoS розраховується на підставі формули:

$$QoS = [\mu^D \mu^J \mu^{PLR} \mu^B] \times [W^D W^J W^{PLR} W^B]$$

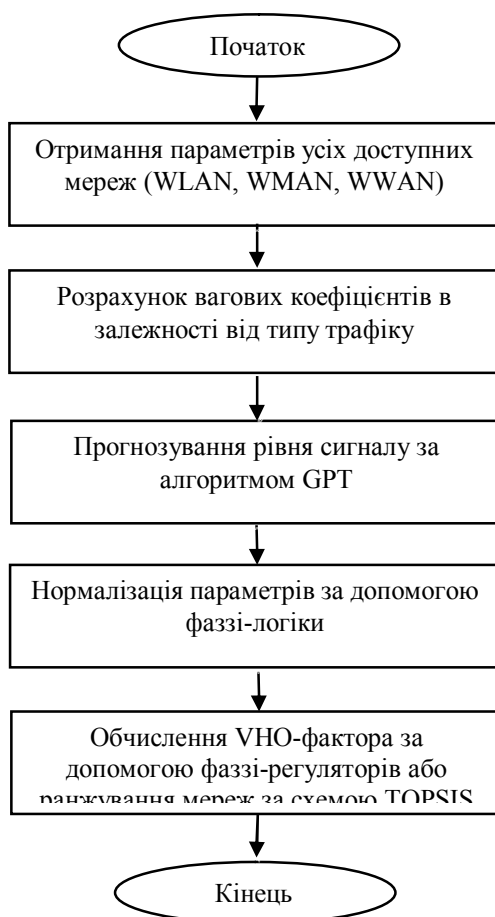


Рисунок 3 - Блок-схема підпрограми розрахунку VHO-фактору або вибору мережі призначення

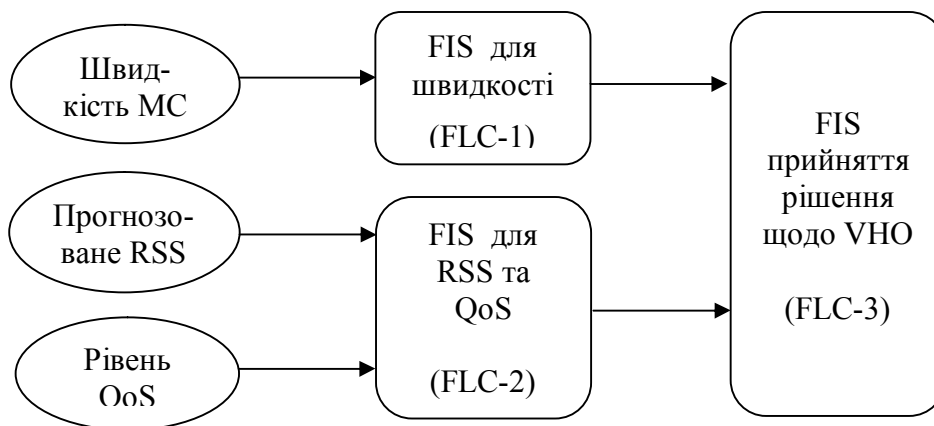


Рисунок 4 - Фаззи-регулятори модуля ініціації хендовера

де W – це ваговий коефіцієнт певного параметру QoS для певного типу трафіку, а μ – це значення функції приналежності кожного параметру QoS.

Отриманий результат порівнюється з пороговим значенням, яке у даному дослідженні прийнято 0,75. Якщо значення перевищує порогове, то ініціюється хендовер – тобто запускається алгоритм вибору мережі призначення. Модуль вибору мережі призначення вертикального хендовера на базі попередніх розрахунків ранжує мережі за алгоритмом

TOPSIS, який розраховує відносну наближеність мережі-кандидата до ідеального рішення (за ідеальне приймається найкраще з існуючих).

Висновки

1. Представлена математична постановка задачі вибору мережі призначення при здійсненні вертикального хендовера.

2. Запропоновано критерій ініціації вертикального хендовера, що базується на використанні фаззи-логіки та дозволяє впровадити диференціацію в обслуговуванні на базі типу трафіку.

3. Розроблено новий мультикритеріальний алгоритм ініціації хендовера та вибору мережі призначення, який дозволяє реалізувати безшовне переміщення абонентів у гетерогенному середовищі.

Список використаної літератури

1. Состояние рынка мобильного широкополосного доступа «В ритме технологий, соединяющих общество» - отчет фирмы "Ericsson", 2012.
2. Попов В.А. Алгоритм оптимальной кластеризации для сетей сотовой связи / В.А. Попов, В.Я. Воропаева, Я.М. Верховский // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – Випуск 13 (121). – С. 53-58.
3. Охріменко М.Ф. Особливості використання алгоритму FQA для забезпечення QoS в домені пакетної комутації мобільних мереж третього покоління / М.Ф. Охріменко, В.Я. Воропаєва // «Проблеми телекомунікацій»: IV міжнародна науково-технічна конференція. збірник тез. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – С. 190.
4. Соловійов М.С., Воропаєва В.Я. Забезпечення показників якості в конвергентних мережах GSM/Wi-Fi при впровадженні нових сервісів / М.С. Соловійов, В.Я. Воропаєва // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Випуск 16 (147). – С. 22-28.
5. IEEE standard for local and metropolitan area networks- part 21: Media independent handover. Technical report, 2009. Спосіб доступу: <http://www.ieee802.org/21>
6. An overview of vertical handover techniques: Algorithms, protocols and tools Johann Marquez-Barja, Carlos T. Calafate, Juan-Carlos Cano, Pietro Manzoni / Computer Communications 34 (2011) 985–997
7. A review on mobility management and vertical handover solutions over heterogeneous wireless networks. Mariem Zekri, Badii Jouaber , Djamel Zeghlache/ Computer Communications 35 (2012) 2055–2068.
8. Zahran A.H. Signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks / A.H. Zahran, B. Liang and A. Saleh // Mob.Netw.Ap., 2006. – vol. 11. – P. 625-640.
9. Nguyen-Vuong Q. A user-centric and context-aware solution to interface management and access network selection in heterogeneous wireless environments / Q. Nguyen-Vuong, N. Agoulmine and Y. Ghamri-Doudane // Comput.Netw., 2008 – vol. 52. – P. 3358-3372.
10. Stevens-Navarro E. An MDP-based vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks / E. Stevens-Navarro, Y. Lin, V.W.S. Wong // IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008. – 57 (2). – P. 1243–1254.
11. Ying W. Vertical handover decision in an enhanced media independent handover framework, / W. Ying, Y. Jun, Z. Yun, L. Gen, Z. Ping // in: IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2008. – P. 2693–2698.
12. Kassar M. An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks / M. Kassar, B. Kervella, G. Pujolle // Elsevier Computer Communications, 2008 – 31(10).
13. Студентська наукова робота на тему: «Дослідження процедури вертикального хендовера у гетерогенних бездротових мережах» на Всеукраїнський конкурс студентських

- наукових робіт з технічної галузі наук “ Телекомунікаційні системи та мережі ”, 2012.
Спосіб доступу: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/18232>
14. Соловьев М.С. Прогноз трафика GSM сетей с учетом свойств фрактальности / М.С. Соловьев, В.Я. Воропаева // «Проблемы телекоммуникаций»: Материалы II Международной научно-технической конференции. Сборник тез. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. - С.99 – 101.
 15. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / С.Д. Штовба // Винница: Издательство ВГТУ, 2001. – 198с.

Надійшла до редакції:
17.04.2013 р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

В.Я. Воропаева, А.Д. Гришаева

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Алгоритм вертикального хэндовера в гетерогенной беспроводной сети. В работе представлен алгоритм интеллектуального вертикального хэндовера в гетерогенной беспроводной сети, который является мультикритериальным (учитывает качество и стоимость обслуживания в сети, скорость перемещения абонента и его предпочтения) и использует аппарат фаззи-логики для обработки данных и инициации хэндовера, а также при выборе сети назначения. Алгоритм позволяет поддерживать бесшовное перемещение мобильных абонентов и рациональное использование ресурсов операторов, с другой стороны – поддерживать качество обслуживания для конечных пользователей и минимизировать их затраты, что в целом, позволяет предоставлять услуги мобильной связи на качественно новом уровне.

Ключевые слова: вертикальный хэндовер, гетерогенная беспроводная сеть, фаззи-логика, MADM, TOPSIS.

V.Voropayeva, A.Grishaeva

Donetsk National Technical University

A Vertical Handover Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks. In next generation heterogeneous wireless networks user terminals with multiple network interfaces will be able to gain access to the networks of different operators or providers using various wireless technologies (WLAN, WMAN, WWAN and others). In such circumstances, there is a need to support the mobility of users, which is implemented with the help of a vertical handover (VHO) - the mechanism of switching the on-going connections from one Radio Access Network (RAN) to another. This switching can be based on different criteria and factors (QoS, cost, operator policies, user preferences, etc.). The choice of the algorithms of their processing and combination affects the quality for end-users and their satisfaction with the service, as well as the efficiency of network resources allocation.

The aim of this work is to improve the quality of mobile services by the effective use of the heterogeneous wireless network resources and VHO procedure optimization. To achieve this goal several tasks have been accomplished by this research: formulating the destination network selection problem, choosing the parameters and building vertical handover initiation criteria, developing an algorithm of the destination network selection. In this paper, the algorithm of intelligent multi-criteria vertical handover for the wireless heterogeneous networks is proposed. It uses parallel fuzzy logic controllers for processing handover initiation and network selection data. It also uses the TOPSIS ranking algorithm, Grey Prediction Theory (GPT) for the RSS prediction and the Analytics Hierarchy Process (AHP) for the metric weights calculation.

Keywords: vertical handover, heterogeneous wireless network, fuzzy logic, multi-attribute decision making, TOPSIS ranking.