

## МЕТОД ВИБОРУ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ В МОБІЛЬНІЙ СИСТЕМІ SDR ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМУ ХЕНДОВЕРІ

© Глоба Л.С., Суліма С.В., Курдеча В.В., 2014

Запропоновано метод вибору мережі призначення процедури вертикального хендOVERу в гетерогенних мобільних радіосистемах зі здатністю реконфігуруватися, побудованих на основі технології Software Defined Radio: сформульовано задачу вибору мережі та представлено процедуру вертикального хендOVERу в таких системах. Змодельовано і проаналізовано процес розв’язання оптимізаційної задачі прийняття рішення про вертикальний хендOVER за допомогою системи Mathcad.

Ключові слова: вертикальний хендOVER, мобільна мережа, SDR, радіосистеми з можливістю реконфігурації, оптимізаційна задача.

L.S. Globa, S.V. Sulima, V.V. Kurdecha

National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”

## VERTICAL HANDOVER ACCESS SELECTION IN MOBILE SDR SYSTEM

© Globa L.S., Sulima S.V., Kurdecha V.V., 2014

In order to satisfy emerging user requirements in advanced services/applications, provided seamlessly, operators have to deploy complex network topologies of heterogeneous nature, where different Radio Access Technologies (RATs) co-exist in single composite network with shared resources. Network operator will have assign the appropriate RAT to perform the respective task, so as to achieve the required quality of service, cost-effectively. In such circumstances, there is a need in vertical handover – mechanism of transferring current connections from one radio access network to another. Furthermore, reconfigurable (adjustable) depending on the telecommunication environment devices should be used as user terminals. Software Defined Radio (SDR) technology has been identified as a key enabler of such equipment and networks. This paper is devoted to the vertical handover problem solving. Vertical handover decision problem is very important, because it has strong influence on the network performance and the quality of service of nodes. There are two main aspects of this problem: how to define “best” and how to determine the best access bearer. In the article the access selection method of vertical handover process in heterogeneous reconfigurable mobile radio systems based on SDR technology is proposed: access selection problem is formulated and vertical handover algorithm in such systems is described. To perform an accurate decision the proposed decision process rely on multiple attributes decision-making, while providing a small delay due to the sequential filtration and reduction of the set of possible alternatives. The method allows optimizing network and radio resources utilization and quality of service in heterogeneous network and also provides dynamic adaptation of the access selection decision-making rules according to the different telecommunication conditions and network policies. The proposed selection criteria, on the one hand, is simple and well-formalized, and therefore does not require significant computational and time costs, but on the other – provides adaptability. Vertical handover algorithm takes into account peculiarities of SDR devices and therefore can be used in SDR networks. To evaluate the method Mathcad system was used.

**The effectiveness of the method is confirmed by simulation example for UMTS, GPRS and WLAN networks, which is based on proposed decision-making process where decision is made not on the basis of the absolute advantage of alternative but on the basis of difference between the current and alternative modes parameters, therefore minimizing the amount of inter-system handovers causing additional load on the system. Simulation confirmed that linear aggregation function in multiple attributes decision-making process is the most appropriate because it provides almost the same results as the other methods but in a much simpler way.**

**Key words: vertical handover, mobile network, SDR, reconfigurable radio systems, optimization problem.**

**Вступ.** Кількість абонентів мобільного зв'язку стрімко зростає, а також підвищуються вимоги користувачів до послуг. При цьому різні технології доступу (Radio Access Technology – RAT) мають різні характеристики (ємність, охоплення, вартість тощо). Щоб досягти належної якості обслуговування з мінімальними витратами, оператору мережі необхідно відводити певну RAT для виконання відповідних завдань. Крім того, як користувацькі термінали бажано використовувати пристрої зі здатністю реконфігуруватися, тобто переналаштовуватися, залежно від телекомунікаційного середовища. Технологія Software Defined Radio (SDR) визначається як ключовий інструмент реалізації таких пристроїв та мереж, в якій програмне забезпечення виконує функції налаштування на довільну смугу частот і функції приймання різних видів модульованого сигналу. Для використання переваг реконфігурації необхідно мати ефективну систему управління процесом прийняття рішення щодо реконфігурації.

У таких умовах виникає необхідність у вертикальному хендовері – механізмі передавання поточних з'єднань з однієї мережі радіодоступу до іншої. Відомі методи вибору мережі радіодоступу та прийняття рішення щодо хендоверу, очевидно, не будуть задовільними в майбутньому мережевому середовищі, де є декілька суб'єктів, що співпрацюють і/або конкурують, таких як телекомунікаційні оператори і провайдери послуг. Мета забезпечення “найкращого зв'язку” для кінцевих користувачів в таких умовах вимагає складніших методів прийняття рішень щодо хендоверу, де потреби кінцевих користувачів, а також бізнес-домовленості з боку мережі враховуються у процесах оцінки та вибору.

Якщо горизонтальний хендовер є достатньо дослідженою процедурою та зазвичай здійснюється на основі оцінки потужності прийнятого від абонента сигналу, то для вертикального хендоверу такого оцінювання недостатньо у зв'язку з неоднорідною природою різних мереж мобільного зв'язку. В останніх публікаціях можна виділити три основні напрями в алгоритмах прийняття рішення щодо вертикального передавання обслуговування (хендоверу). Перший ґрунтується на алгоритмах багатокритеріального прийняття рішення щодо хендоверу, у яких різні параметри агрегуються у функції вартості [1]. Другий передбачає обробку вхідних параметрів за математичними алгоритмами на основі марківських процесів прийняття рішень, наприклад, як у [2]. Третій оснований на використанні нечіткої логіки, приклади рішень на основі нечіткої логіки представлені у [3], [4]. Проте у попередніх роботах як критерії вибору розглядали лише декілька параметрів. У цьому дослідженні пропонується загальна схема для вибору мережі радіодоступу, яка дає змогу враховувати в процесі оцінки велику кількість критеріїв і динамічно адаптувати правила прийняття рішень.

Метою роботи є підвищення ефективності роботи мобільної мережі стільникового зв'язку за рахунок удосконалення механізму вертикального хендоверу шляхом модифікації формальної моделі задачі вибору мережі призначення вертикального хендоверу та удосконалення алгоритму прийняття рішення щодо вертикального хендоверу.

**Процес прийняття рішення щодо хендоверу.** Розглянемо задачу прийняття рішення щодо хендоверу: як вибрати кращий канал доступу серед наявних. Є два основні аспекти цієї задачі: як означити “кращий”, тобто побудувати критерій прийняття рішення, і як визначити найкращий канал доступу. Перший стосується цілі прийняття рішення, міри і потрібної інформації, а другий – алгоритму і механізмів досягнення цілі [5].

Сформулюємо загальну проблему вибору мережі доступу в такому вигляді:

$$\max_{x \in X(P)} u(x, P, \Lambda). \quad (1)$$

Тут цільова функція є функцією корисності  $u(x, P, \Lambda)$ , яка визначає корисність каналу  $x$  для вектора параметрів  $P$  з вагою  $\Lambda$ , що є вектором вагових коефіцієнтів для різних параметрів з  $P$ ; результатом процесу вибору є канал доступу, який найкраще підходить для терміналу користувача. Множина допустимих значень  $x \in X(P)$  є множиною доступних каналів доступу. Її можна розглядати як фільтр перевірки виявлених каналів за статичними параметрами (такими як політики і можливості каналів доступу), тобто:

$$X(P) = \{x \in D : g(x, P_e) = TRUE\}, \quad (2)$$

де  $D$  – це множина виявлених каналів доступу,  $P_e$  – набір статичних параметрів, і  $g(x, P_e)$  – булева функція, яка набуває значення ІСТИНА, якщо канал  $x$  допустимий відповідно до параметрів  $P_e$ . Так, наприклад, повинні виконуватись вимоги безпеки, а швидкість користувача має допускати можливість виконати хендвер між системами.

Вектор параметрів  $P$  складається з кількох частин:

$$P = P_s \cup P_u \cup P_{an} \cup P_n, \quad (3)$$

де  $P_s$ ,  $P_u$ ,  $P_{an}$ ,  $P_n$  – це окремі вектори параметрів, які відображають різні характеристики послуг, користувачів, мережі доступу і мережі загалом відповідно.

Наступний вираз є формалізацією методу, який пропонується використовувати для оцінки кожного каналу доступу  $x_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$ :

$$u(x_i, P_i, \Lambda(s)) = \sum_{j=1}^N \lambda_j(s) \cdot p_{ji}, \quad (4)$$

де  $u_i$  – це оцінка каналу доступу  $x_i$ ;  $P_i$  – вектор з  $N$  параметрів каналу  $x_i$ ;  $\Lambda(s)$  – це вектор вагових коефіцієнтів для кожного параметра з  $P$  за стратегії  $s$ .

Стратегію  $s$  можна задавати у гнучкий спосіб відповідно до цілі, наприклад, задоволеності користувача або ефективного використання радіоресурсів. І більше, пропонується визначати  $\lambda_j(s)$ ,  $j=1,2,\dots,N$  так:

$$\lambda_j(s) = \lambda_{j,static} + \lambda_{j,dynamic}(s) \quad (5)$$

$s$  можна задати як:

$$s = \frac{\max_i |x_{current} - x_i|}{\max_i x_i} \quad (6)$$

де  $x_{current}$  – під'єднаний у поточний момент канал.

Такий підхід дає змогу налаштовувати вагові коефіцієнти залежно від різниці між поточним і доступними каналами, тобто підлаштувати алгоритм прийняття рішення відповідно до того, наскільки суттєвою є різниця значень різних параметрів поточного каналу та решти каналів.

Необхідно також зазначити, що параметри і їх вагові коефіцієнти можуть агрегуватись різними способами, а вираз (4) показує тільки лінійний підхід. Загалом, оцінити канали доступу можна за різними функціями агрегації, наприклад, мультиплікативно. Однак лінійний підхід є найдоцільнішим, оскільки дозволяє отримати практично такі самі результати, як і інші методи (що підтверджується результатами моделювання), але у значно простіший спосіб, що позитивно позначається на використанні обчислювальних ресурсів мережі та часі виконання процедури хендверу.

Алгоритм вибору каналу доступу визначає, як знайти доцільний канал доступу за виразом (1), який максимізує корисність для заданого набору параметрів відповідно до прийнятої стратегії. Загальний алгоритм: а) визначити множину доцільних каналів з множини доступних каналів  $X(P)$  з множини виявлених каналів доступу  $D$  відповідно до виразу (2); б) розрахувати значення корисності  $u(x, P, \Lambda)$  для кожного каналу доступу в  $X(P)$  відповідно до (4), в) вибрати канал з найбільшим значенням  $u(x, P, \Lambda)$ . Опис алгоритму вертикального (міжсистемного) хендверу на високому рівні подано на рис. 1.

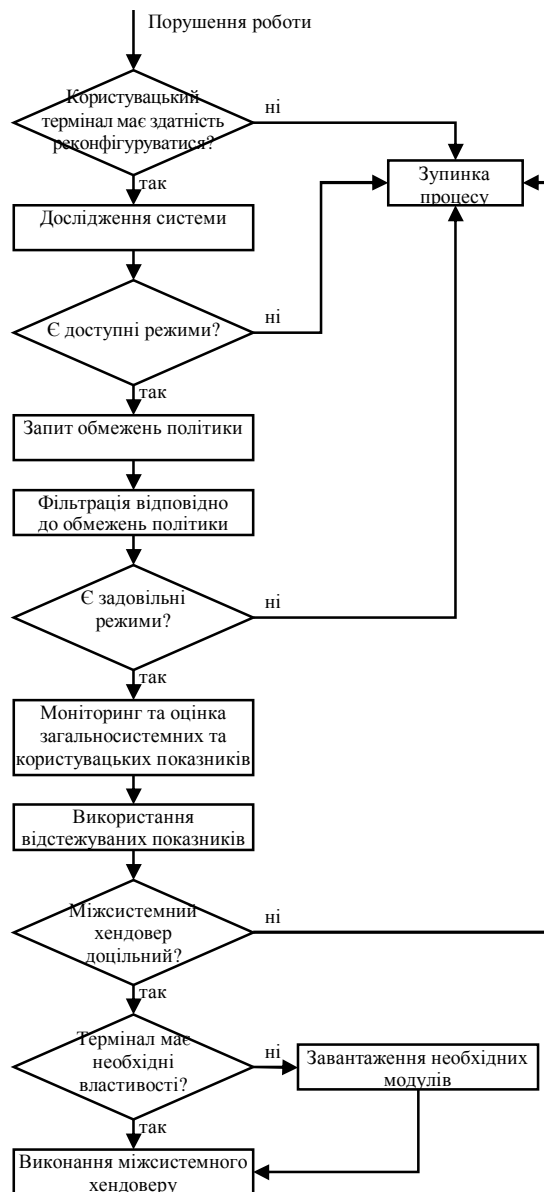


Рис. 1. Алгоритм вертикального хендоверу

**Аналіз алгоритму вибору мережі доступу в контексті реконфігурації терміналу в системі Mathcad.** Розглянемо оптимізаційну задачу в системі Mathcad. Визначення функції для знаходження оптимального розв'язку за критерієм (1) наведено на рис. 2.

З метою оцінки та аналізу запропонованої моделі прийняття рішення змодельюємо систему з гетерогенними мережами, в якій дві стільникові системи (UMTS та GPRS) та дві мережі WLAN розташовані в зоні покриття з кількома областями, і лише мережа GPRS доступна в усіх областях. Передбачається, що WLAN підтримує мобільність до 30 км/год, UMTS – до 100 км/год, а GPRS – до 150 км/год. Мережа, до якої під'єднаний користувач перед виконанням вертикального хендоверу, а також швидкість його пересування вибирається довільно. Розглядаються чотири класи трафіку: розмовний, потоковий (потокове відео), інтерактивний (перегляд веб-сторінок), фоновий (передавання файлів).

```

AccessSelection(R, N, W, N_con) :=
  Cols ← R
  max_value ← -∞
  name ← ""
  for i ∈ 0.. cols(Cols) - 1
    value ← W·Cols(i)
    con ← value if is_member(N(i), N_con)
    if value > max_value
      max_value ← value
      name ← N(i)
  name if max_value > (con + 0.05)
  N_con otherwise

```

Рис. 2. Функція AccessSelection

Результати порівняння запропонованого вище методу з методами багатокритеріальної оптимізації, основаними на простому зваженому підсумуванні, наближеності до ідеального рішення та експоненційно зваженому множенні, показують, що кількість хендверів зменшується; ще більше її зменшити можна було б, збільшивши у алгоритмі прийняття рішення мінімальну різницю між максимальною оцінкою та оцінкою поточного режиму, за якої запускається хендвер. Крім того, у деяких випадках мережі призначення хендверу за різних методів відрізняються; це підтримується тією обставиною, що вагові коефіцієнти у запропонованому алгоритмі розраховуються залежно від поточних умов.

Проведене моделювання показало, що до мереж UMTS та GPRS виконується найбільша кількість хендверів, а особливо до мережі UMTS, оскільки вони підтримують більшу мобільність користувачів, крім того, GPRS є єдиним варіантом, доступним в усіх областях зони, що розглядається.

Результати моделювання, що ілюструють залежність кількості виконуваних хендверів до різних мереж залежно від класу трафіку на різних швидкостях, подані на рис. 3.

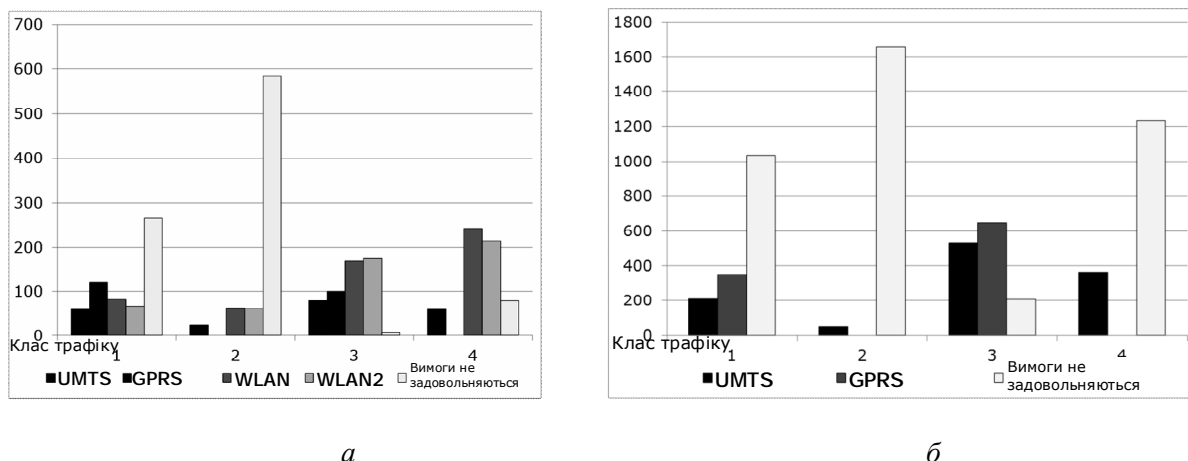


Рис. 3. Графік кількості виконуваних хендверів до різних мереж залежно від класу трафіку за швидкості: а – до 30 км/год; б – понад 30 км/год

У випадку, коли швидкість пересування користувача перевищує 30 км/год, тобто підтримуються тільки мережі UMTS та GPRS, причому обидві вони доступні в зоні обслуговування, то більший відсоток хендверів відбувається в мережу UMTS, оскільки вона має кращі показники. Відповідно, загальна кількість хендверів у мережу UMTS більша, навіть попри те, що, на відміну від мережі GPRS, вона не має покриття в усіх точках. За такої швидкості для

розмовного та інтерактивного трафіку переважна кількість хендверів здійснюється у мережу GPRS завдяки її постійній доступності, але коли і GPRS, і UMTS обидві доступні, то більша кількість хендверів здійснюється у мережу UMTS; крім того, для потокового та фонових класів трафіку UMTS є єдиним можливим варіантом, що спричиняє велику кількість відмов. Якщо ж швидкість пересування користувача не перевищує 30 км/год і в області доступні усі чотири мережі, то перевагу надають WLAN. Однак мережа GPRS все ж таки має високе значення сумарної кількості хендверів для розмовного трафіку завдяки її постійній доступності.

Отже, видається доцільним запропонувати забезпечення покриття мережею UMTS всієї розглянутої зони, щоб забезпечити зв'язок за будь-яких умов швидкості пересування користувачів, а мережами WLAN – області з невисокою мобільністю користувачів.

**Висновок.** Запропонований удосконалений критерій вибору мережі призначення, до якої здійснюється вертикальний хендвер, дає змогу оптимізувати використання мережевих та радіоресурсів гетерогенної мережі та якість обслуговування користувачів, а також динамічно адаптувати правила прийняття рішень стосовно вертикального хендверу залежно від різних телекомунікаційних умов та мережевих політик. Запропонований критерій вибору є, з одного боку, простим та добре формалізованим, а отже, не потребує значних обчислювальних витрат і витрат часу, проте, з іншого боку, забезпечує адаптивність. А розроблений на основі сформульованого критерію вибору мережі призначення алгоритм вертикального хендверу враховує особливості побудови та роботи SDR пристроїв.

У роботі визначено набір функцій для розв'язання оптимізаційної задачі вибору мережі призначення за вертикального хендверу в середовищі Mathcad. Ефективність методу підтверджується прикладом моделювання для мереж UMTS, GPRS та WLAN, який демонструє роботу алгоритму прийняття рішення і підкреслює той факт, що рішення приймається не на основі абсолютної переваги тієї чи іншої альтернативи, а на основі різниці значень поточного і альтернативного варіанта, мінімізуючи кількість міжсистемних хендверів, що спричиняють додаткове навантаження на систему.

У подальших дослідженнях запропонований метод можна розглянути в умовах функціонування конкретних реальних мереж мобільного зв'язку зі здатністю реконфігуруватися.

1. Manjaiah D. A review of vertical handoff algorithms based on Multi Attribute Decision Method / D. Manjaiah, P. Payaswini // *Int. J. Advanced Research in Computer Engineering and Technology*. – 2013. – Vol. 2, No. 6. – P. 2005–2008. 2. 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. – Vol. 57, No. 2. – P. 1243–1254. 3. Wu S. Fuzzy-based handover decision scheme for next-generation heterogeneous wireless networks / S. Wu // *Journal of Convergence Technology*. – 2011. – Vol. 6, No. 4. – P. 285–297. 4. Patil C. An approach for optimization of handoff algorithm using fuzzy logic system / C. Patil, M. Kolte // *Int. Journal of Computer Science and Communication*. – 2011. – Vol. 2, No. 1. – P. 113–118. 5. Sachs J. Multi-access Management in Heterogeneous Networks / J. Sachs, M. Prytz, J. Gebert // *Wireless Personal Communications*. – 2009, January. – Vol. 48, No. 1. — P. 7–32.