

Я. Я. Обіход, В. П. Лисечко, І. В. Ковтун, Ю. С. Шувалова, С. В. Сколота

Український державний університет залізничного транспорту Харків, Україна

## МЕТОДИ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ І МАСШТАБУВАННЯ В МЕРЕЖАХ БЕЗПРОВОДОВОГО ДОСТУПУ

Віртуалізація і масштабування різних процесів вже давно вбирає в себе все нові і нові галузі. Крім поширеної віртуалізації мереж, продовжують розвиватися віртуальні компанії. В якості прикладу можна привести віртуальних операторів мобільного зв'язку (MVNO), які використовують для обслуговування абонентів фактично «чужі» мережі, проте мають ряд переваг в порівнянні з традиційними операторами зв'язку. У перспективі даний підхід дасть можливість забезпечити найкраще підключення абонента в його точці присутності та використовувати віртуальні сервіси. В недалекому майбутньому мережева інфраструктура мобільного зв'язку повністю або частково перестане бути власністю операторів, а функції операторів будуть мати більшою мірою логічний характер. Перехід до подібної схеми обслуговування буде відбуватися не тільки на абонентському рівні, а й на рівні розробки відкритого програмного забезпечення, операційних систем, мережевих технологій. Подібна реорганізація потребуватиме певних часових ресурсів, адже знадобиться узгодження стандартів, модернізація обладнання, створення нового програмного забезпечення захисту інформації.

**Ключові слова:** когнітивне радіо, LTE, інфраструктура як послуга, платформа як послуга, центр обробки даних, програмне забезпечення як послуга, програмно-конфігуровані мережі, віртуалізація мережевих функцій, центр обробки даних.

### Постановка проблеми

В сучасних мережах безпроводового доступу існує ряд питань, який було вирішено частково або має складну систему рішень: зберігання даних; ізоляція всіх внутрішніх процесів; зберігання станів даних та відновлення даних в певний момент часу; гнучкий розподіл авторизації та аутентифікація; об'єднання процесів по логічним або іншим ознакам; контроль доступу та управління системами і мережами, поділ привілеїв на групи.

Виходячи з вищеописаного існує необхідність аналізу таких технологій як віртуалізація і масштабування в системах безпроводового зв'язку.

**Аналіз літератури.** Різноманітні технології віртуалізації і масштабування в системах безпроводового зв'язку розглядаються в багатьох наукових працях [1–23]. Але деякі питання задишаються за межами досліджень. Так, наприклад, в [1] не розглядається напрямок зменшення обсягів зайнятої пам'яті, а також функціональних можливостей систем віртуалізації. В [2] було знехтувано можливістю застосування хмарних технологій в системі безпроводового зв'язку LTE. В [3] не було розглянуто ключові поняття автоматизації та масштабування, а також віртуалізації мережевих функцій. В [4] немає реалізації архітектури когнітивних радіосистем з використанням хмарної архітектури. В [5] немає побудови віртуалізації ядра мережі та мережі радіодоступу.

**Метою статті** є аналіз методів віртуалізації і масштабування в мережах безпроводового доступу.

### Основний матеріал дослідження

Віртуалізація та масштабування систем вкрай важливі в сучасному мобільному зв'язку. Вони дозволяють операторам: масштабувати мережі і необхідні частотні ресурси; перерозподіляти частотні ресурси між собою; ефективно використовувати частотні ресурси; досягати максимальної відмовостійкості сервісів і послуг; застосовувати інтелектуальні

децентралізовані системи. Крім цього, віртуалізація дозволяє скоротити необхідну кількість обладнання в мережі операторів мобільного зв'язку, що дозволить знизити споживання енергії, зменшить загальні фінансові витрати, необхідні мобільним операторам для побудови власної мережевої інфраструктури.

Відповідно, основними завданнями віртуалізації мережевої інфраструктури є:

- зменшення експлуатаційних витрат;
- скорочення енергоспоживання;
- підвищення спектральної ефективності;
- можливість підтримки декількох стандартів радіо доступу на основі відкритої платформи;
- швидкий запуск нових послуг, в наслідок чого відбувається збільшення прибутку;
- покращення якості обслуговування абонентів.

Головною частиною віртуалізації є хмарна платформа, приклад архітектури якої представлено на рис. 1.

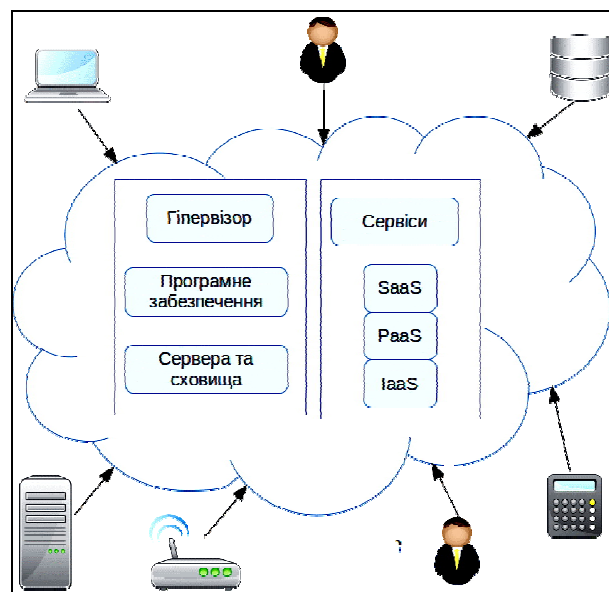


Рис. 1. Архітектура хмарних систем

Основними компонентами даної платформи є:  
 - віртуальні машини,  
 - розподілені сховища даних (для забезпечення відмовостійкості),  
 - програмне забезпечення для виконання операції в автоматичному режимі;

- система управління структурою - розподіл навантаження, масштабування і т.д;  
 - шлюз програмного забезпечення.  
 Гістограму використання користувачами загальнодоступних хмарних технологій представлено на рис. 2.

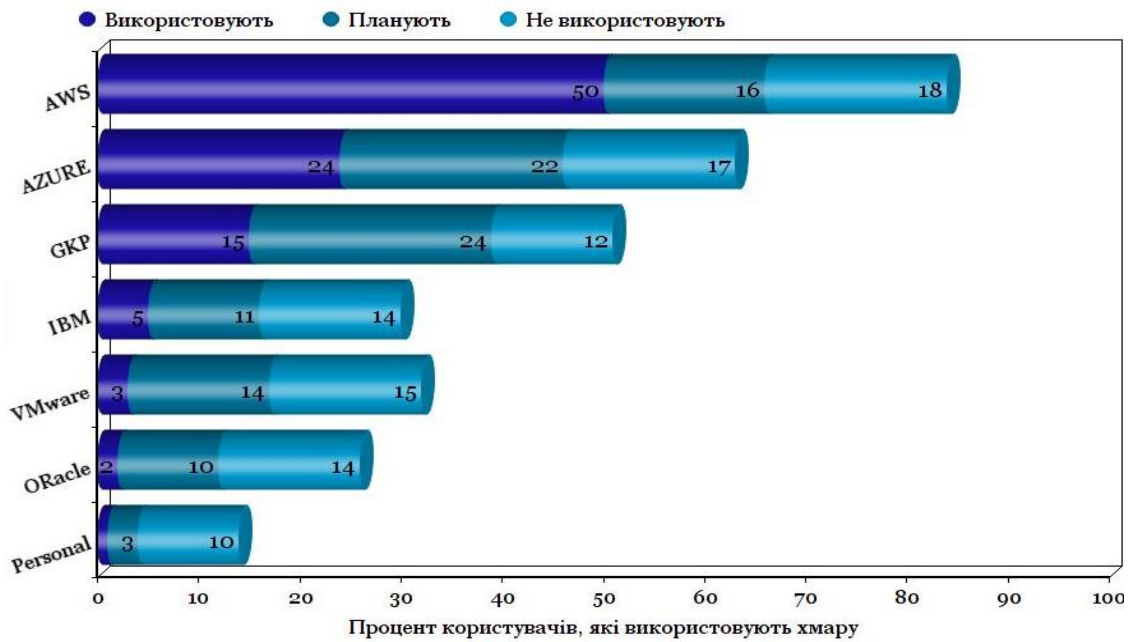


Рис. 2. Використання загальнодоступних хмарних технологій

Інфраструктура як послуга (IAAS) - надання обчислювальних ресурсів абонентам для користування. Дана модель дозволяє користувачу управляти операційними системами і програмним забезпеченням, але не має можливості управління і контролю фізичною інфраструктурою.

Платформа як послуга (PaaS) - надання послуги з метою розгортання програмного забезпечення, реалізованого на основі інструментів, які підтримуються провайдером. Користувач не має можливості управляти хмарною інфраструктурою, а саме системою зберігання даних, операційною системою і т.д.

Програмне забезпечення як послуга (SaaS) - Основною складовою хмарної структури є хмарні послуги, котрі можна виразити в трьох формах: надання послуг як інфраструктури, платформи і програмного забезпечення надання послуг у вигляді програмного забезпечення, розгорнутих в хмарній інфраструктурі провайдера. Програмне забезпечення може бути доступним для різних, призначених для користувача, пристроїв але керувати параметрами роботи і налаштувати програмне забезпечення користувачу буде заборонено.

Абонент, в залежності від власних потреб, обирає відповідну модель обслуговування. Якщо користувач вибирає SaaS, він отримує деякі можливості по управлінню налаштуваннями, але обслуговування самої послуги провайдер хмарної інфраструктури здійснює самостійно. Це позбавляє користувача від додаткових витрат на технічне обслуговування.

Найбільш актуальні технології, що допомагають провайдерам з модернізацією і спрощенням ме-

режі, є віртуалізація мережевих функцій (NFV) і програмно-конфігуровані мережі (SDR). Вони мають ряд переваг, зокрема, швидкий запуск нових послуг на ринок (TVO) та скорочення витрат (TCO).

Основною ідеєю програмно-визначених мереж є відділення рівня передачі трафіку (Data Flow) від рівня управління (Control Plane) [1]. У SDN функції управління трафіком винесені з мережевих пристроїв на загальний контролер. На комутаторах і маршрутизаторах залишилося тільки налаштування по передачі абонентського трафіку (рис. 3).

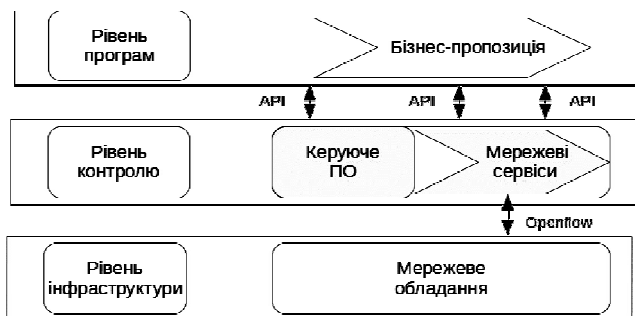


Рис. 3. Структура SDN

Ключовим елементом концепції SDN є протокол управління процесом обробки даних, який реалізує взаємодію контролера з мережевими пристроями. За допомогою контролера вся мережа, що складається з пристроїв різних виробників, представляється для сервісу як один логічний комутатор. SDN реалізує інтерфейс прикладного програмування (API), який дозволяє змінювати контролер ззовні,

визначаючи середу для автоматизації, контролю якості та масштабування. До основних переваг SDN можна віднести:

- мінімізацію часу запуску додатків;
- збільшення надійності і безпеки мережі;
- централізоване управління;
- зменшення витрат на управління мережевими ресурсами;

Важливою складовою віртуалізації процесів є віртуалізація мережесих функцій (NFV), основним

завданням якої є реалізація функції управління мережами і надання послуг програмним шляхом, замість використання окремого обладнання. Технологія NFV дозволяє декільком операторам задіяти одну й ту ж саму мережеву інфраструктуру (рис. 4). Такий підхід дозволяє істотно спростити реалізацію віртуальних мобільних операторів (MVNO).

Існує можливість віртуалізації як ядра мережі (наприклад EPC/SAE), так і самої мережі радіодоступу (RAN) [3] (рис. 5).

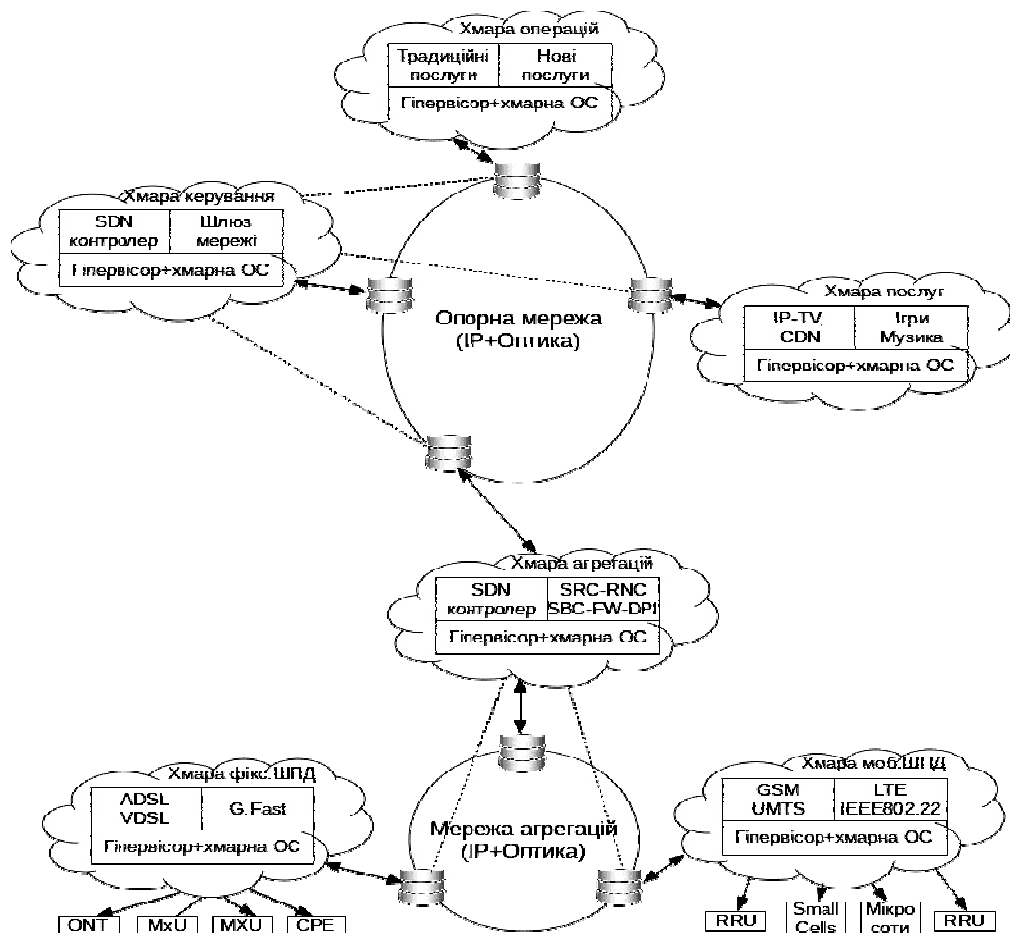


Рис. 4. Узагальнена хмарна архітектура мережі оператора зв'язку на основі SDN / NFV

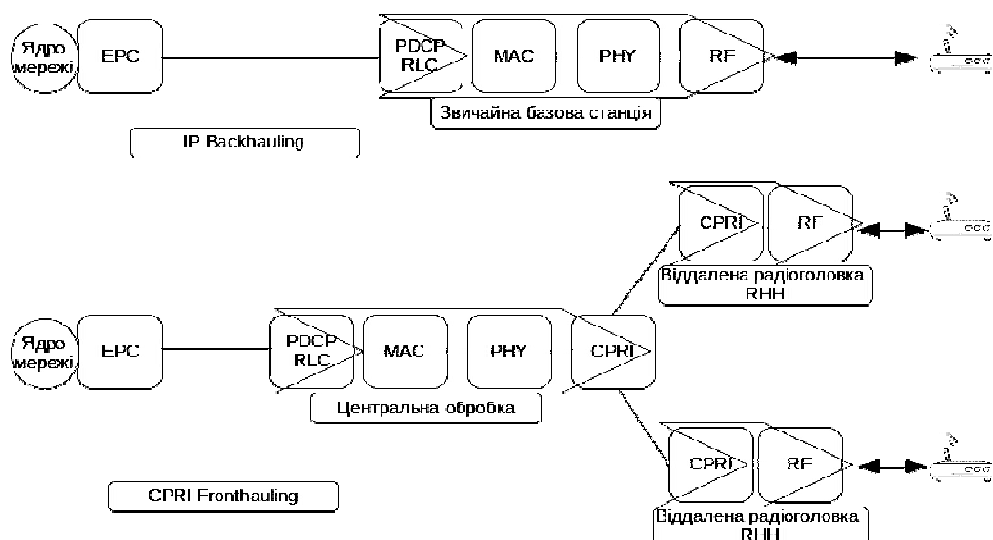


Рис. 5. Реалізація архітектури хмарної інфраструктури RAN

У зв'язку з тим, що ядро мережі має меншу кількість мережевих елементів, його віртуалізація є більш простим рішенням. Віртуалізація RAN є найбільш трудомістким процесом, але може принести більше користі з точки зору ефективності розгортання і управління мережею (наприклад, функції Smart Cell). Дане рішення дозволяє істотно спростити координацію радіочастотного ресурсу між сотами. З точки зору взаємодії базових станцій між собою, одними з найголовніших технологій є координація прийому і передачі (COMP), подвійне з'єднання (Dual Connectivity) та координація перешкод (eICIC). На підставі вимог до кожного віртуального оператора може бути укладено відповідний контракт, що їх задовольняє. В межах даної структури постачальникам інфраструктури запропоновано чотири різні типи контракту:

1. Фіксовані гарантії: за оператором закріплена фіксована смуга частот незалежно від того, використовує він її чи ні;

2. Динамічні гарантії: оператор отримує в розпорядження смугу частот згідно з його фактичної потреби.

3. Мінімальна гарантія: оператор отримує мінімальну гарантовану смугу частот, яка буде виділена в будь-якому випадку.

4. Мінімальна гарантія без гарантій: оператору присвоюється будь-яка доступна в даний момент смуга частот, при цьому оператор всередині своєї мережі не гарантує швидкісні показники і якість обслуговування при передачі трафіку.

Гіпервізор використовує значення оцінки необхідної пропускну здатності для виділення спектра кожному віртуальному оператору. В контактах типу 2 ця оцінка буде служити фактичною виділеною смугою для оператора, верхнє значення смуги буде обмежено спектром. Для типу 3 і 4 гіпервізор спочатку виділяє фізичні ресурси (PRB) операторам контракту типу 3, а потім розподіляє між операторами типу 4. Розподіл частотного спектру засновано на чинник справедливості, який розраховується наступним чином:

$$F_i = E_i(N) / E_{total} \quad (1)$$

де  $F_i$  – чинник справедливості оператора  $i$ ,  $E_i(N)$  – оцінка PRB оператора  $i$ ,  $E_{total}$  – максимальне значення оцінки PR по всім операторам,

$$E_{total} = \sum_{i=1}^K E_i(N) \quad (2)$$

Кількість PRB, виділених для кожного віртуального оператора розраховується наступним чином:

$$PRBsAlloc_i = \text{int}(FixLeftPRBs), \quad (3)$$

де  $\text{int}$  - цілочисельна функція,  $LeftPRBs$  – це число PRB, залишених для операторів, що мають контракт типу 1 з фіксованими гарантіями.

## Висновки

В статті було проаналізовано архітектуру хмарних систем, яка використовує хмарні ресурси. Аналіз показав, що ресурси AWS використовують більш 50 відсотків абонентів.

Було розглянуто реалізацію архітектури хмарної інфраструктури RAN яка дозволяє реалізувати гнучкий розподіл авторизації та аутентифікація.

Під час дослідження було розглянуто архітектуру SDN з використанням мережевих команд, яка дозволяє розглядати збереження даних на програмному рівні. При аналізі конфігурації було запропоновано узагальнену хмарну архітектуру зв'язку на основі SDN / NFV. До основних переваг такого виду хмарної архітектури можна віднести:

- швидке розгортання мереж і додатків;
- гнучке поєднання кількох мережевих функцій на одній платформі;
- зменшення витрат на мережеве обладнання.

Також така структура дозволяє відновити данні в певний момент часу.

Також, під час дослідження було запропоновано реалізацію хмарної архітектурної інфраструктури RAN, яка дає можливість у повному обсязі або частково вирішити питання:

- контролю доступу та керування системами та мережами, подібними до групи;
- ізоляції всіх внутрішніх процесів.
- дозволяє реалізувати гнучкий розподіл авторизації та аутентифікації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыжков А.Е., Сиверс М.А., Воробьев В.О., Гусаров А.С., Слышков А.С., Шуньков Р.В. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax. – СПб: Линк, 2012. – 98-106 с.
2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. – М: Эко-Трендз, 2010.– 205-214 с.
3. Gibson J. D. (Ed.). The mobile communications handbook. CRC Press -IEEE Press. 1996., P. 203-214.
4. Y. C. Liang, K. C. Chen, G. Y. Li, and P. Mahonen, "Cognitive radio networking and communications: an overview," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 60, no. 7, pp. 215–241, 2011.
5. Y. Saleem and M. H. Rehmani, "Primary radio user activity models for cognitive radio networks: a survey," Journal of Network and Computer Applications, vol. 43, pp. 34–45, 2014.
6. Кучук Г.А. Метод оценки характеристик АТМ-трафика / Г.А. Кучук // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, – 2003. – № 6. – С. 44–48.
7. Кучук Г. А., Можаяев О. О., Воробйов О. В. Метод агрегування фрактального трафіка. Радіоелектронні та комп'ютерні системи. 2006. № 6 (18). С. 181–188.
8. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446.
9. Кучук Г. А. Фрактальный гауссовский шум в трафиковых трассах / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – 2004. – № 3(31). – С. 91-100.

10. Кучук Г.А. Аналіз та моделі самоподібного трафіка / Г.А. Кучук, О.О. О.В. Можаяев, Воробійов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – Вып. 9 (35). – С. 173-180.
11. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
12. Gomathi, B, Karthikeyan, N.K. and Saravana, Balaji B., (2018), “Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem”, *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, Vol. 13, Issue 1-3, pp. 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
13. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), “Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search”, *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1.
14. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271.
15. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.
16. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113. – DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
17. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // *Системи обробки інформації*. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
18. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава. ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
19. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), “The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
20. Sivaram, M., Porkodi, V., Mohammed, A.S., Manikandan V. Detection of Accurate Facial Detection Using Hybrid Deep Convolutional Recurrent Neural Network. *ICTACT Journal on Soft Computing*. 2019. Vol. 09, Issue 02. pp. 1844-1850.
21. Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2017. Vol. 29, No 5. P. 137–145. DOI: <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15>
22. Amin Salih M., Yuvaraj D., Sivaram M., Porkodi V. Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. Vol. 9, No 6. P. 1–6.
23. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. І. Приходько,

Український державний університет залізничного транспорту, Харків

Надійшла (received) 26.04.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 05.06.2019

### Методы виртуализации и масштабирования в сетях беспроводного доступа

Я. Я. Обиход, В. П. Лисечко, І. В. Ковтун, Ю. С. Шувалова, С. В. Сколота

Виртуализация и масштабирования различных процессов уже давно впитывает в себя все новые и новые отрасли. Кроме распространенной виртуализации сетей, продолжают развиваться виртуальные компании. В качестве примера можно привести виртуальных операторов мобильной связи (MVNO), которые используют для обслуживания абонентов фактически «чужие» сети, однако имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными операторами связи. В перспективе данный подход позволит обеспечить наилучшее подключения абонента в его точке присутствия и использовать виртуальные сервисы. В недалеком будущем сетевая инфраструктура мобильной связи полностью или частично перестанет быть собственностью операторов, а функции операторов будут иметь в большей степени логический характер. Переход к подобной схеме обслуживания будет происходить не только на абонентском уровне, но и на уровне разработки открытого программного обеспечения, операционных систем, сетевых технологий. Подобная реорганизация потребует определенных временных ресурсов, ведь понадобится согласование стандартов, модернизация оборудования, создание нового программного обеспечения защиты информации.

**Ключевые слова:** когнитивное радио, LTE, инфраструктура как услуга, платформа как услуга, центр обработки данных, программное обеспечение как услуга, программно-конфигурируемые сети, виртуализация сетевых функций, центр обработки данных.

### Methods of virtualization and scaling in wireless access networks

Y. Obikhod, V. Lysechko, I. Kovtun, Y. Shuvalova, S. Skolota

Virtualization and scaling of various processes have long been absorbing new areas. In addition to the widespread virtualization of networks, virtual companies continue to evolve. As an example, the virtual mobile operators (MVNOs) are used to service subscribers actually "alien" networks, but have a number of advantages in comparison with traditional operators. In the future, this approach will provide the opportunity to provide the best subscriber connection at its connection point and use virtual services. In the near future, the network infrastructure of mobile communication will cease to be the property of operators in whole or in part, and the functions of operators will be more logical. The transition to a similar scheme of service will occur not only at the subscriber level, but also at the level of development of open source software, operating systems and network technologies. Such reorganization will require some time resources, since standardization, hardware upgrades, and the creation of new information security software will be required.

**Keywords:** cognitive radio, LTE, infrastructure as a service, platform as a service, data center, software as a service, software-configurable networks, virtualization of network functions, data center.