

В. Г. Сайко, Т. Н. Нарытник, В. Я. Казимиренко, Л. В. Дакова, Л. Н. Грищенко, В. И. Кравченко  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РАДИОСЕТЕЙ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА  
 ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Рассмотрены важнейшие технические аспекты построения и проблемы внедрения сетей связи 4G и 5G. Приведены результаты исследования и разработки телекоммуникационных систем радиосвязи терагерцового диапазона в транспортных сетях нового поколения.

**Ключевые слова:** гетерогенная сеть; терагерцовый диапазон; сети LTE-Advanced; сети сотовой связи 4-го и 5-го поколения.

V. H. Saiko, T. M. Narytnik, V. Ya. Kazimirenko, L. V. Dakova, L. M. Hryshchenko, V. I. Kravchenko  
**USING OF DISTRIBUTED TRANSPORT RADIO NETWORKS OF THE TERAHERTZ RANGE UNDER  
 THE NEW GENERATION MOBILE NETWORKS CONSTRUCTION**

The features of the technical aspects of the 4th and 5th generations communication networks constructions and the problem of their implementation have been considered. The results of the research and development of terahertz range telecommunication radio systems using in the new generation transport networks have been shown.

**Keywords:** heterogeneous network; terahertz range; LTE-Advanced networks; the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> generation cellular communication networks.

УДК 004.055

**В. В. ВИШНІВСЬКИЙ**, доктор техн. наук, професор;

**Г. І. ГАЙДУР**, канд. техн. наук, доцент;

**К. П. СТОРЧАК**, канд. техн. наук, доцент;

**Є. В. ПРИЛЄПОВ**, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖАХ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

*Розглянуто світові тенденції розвитку мережних технологій, а також проблеми, пов'язані зі стрімким зростанням трафіку та неоптимальним використанням мережних ресурсів. Проведено аналіз існуючих мережних програмно-конфігурованих та Ethernet-комутаторів і дано опис їхніх основних функцій. Розкрито ключові переваги програмно-конфігурованих мереж, зокрема на базі технології SDN, а саме: їхній вплив на централізоване управління, розподіл ресурсів, політику безпеки, енергозбереження та на реалізацію нових мережних функцій.*

**Ключові слова:** SDN; OpenFlow; QoS; API; програмно-конфігуровані мережі; енергозбереження; централізоване управління; переспрямування трафіку; комутатор; відмовостійкість; якість обслуговування; моніторинг.

### Вступ

Сьогодні, як і багато років поспіль, стрімко зростає кількість мережних додатків і пристроїв, що супроводжується розширенням прав користувачів, які отримують можливість під'єднання до мережі Інтернет та до своїх власних мереж. Чим більше з'єднань у мережі, тим вища складність сеансів зв'язку, установлюваних між різними учасниками сесій. Machine-to-Machine (M2M) [1], Unified Communications (UC) [2], Next Generation Networks (NGN) і Internet of Things (IoT) [3] — усе це приклади того, як світ глобалізується і як завдяки телекомунікаціям люди стають ближчі одні одним.

### Аналіз публікацій

Новітні технології з'являються щодня, створюючи небачені раніше виклики комунікаційної інфраструктурі, передусім щодо обсягу обміну даними. Це, у свою чергу, вимагає радикального підвищення пропускної здатності існуючих мереж завдяки додаванню більших каналів зв'язку або транспортного обладнання для максимального

використання наявних ресурсів. Водночас вимоги користувачів щодо якості надаваних послуг лише посилюються. Адже кожний користувач може потребувати різноманітного набору послуг, що постачаються з тієї чи іншої сукупності мереж, аби взяти участь в одній гетерогенній сесії QoS — множинної якості обслуговування.

Зі зростанням кількісних показників навантаження на мережі ускладнилися завдання керування мережами — збільшився їх перелік, зростає значущість і посилюється критичність, причому на тлі радикального підвищення вимог до безпеки й надійності. Мережі будуються на базі пристроїв, які постійно ускладнюються, оскільки змушені підтримувати все більше розподілених стандартних протоколів (сьогодні кількість активно використовуваних протоколів і їх версій перевищила 600), із задіянням закритих (пропріетарних) інтерфейсів. За таких умов провайдери не мають змоги оперативно вводити нові сервіси, а виробники мережного обладнання не здатні швидко модернізувати свою продукцію для задоволення вимог замовників. Зрештою підтримка та управ-

ліній складною мережною інфраструктурою стали швидше сферою мистецтва, а не інженерії. Особливо гостро дається взнаки збільшення кількості мережних атак, вірусів та інших мережних загроз, а отже, питання безпеки й досі не мають надійних розв'язань.

Певний шлях до подолання зазначених труднощів було знайдено на базі концепції SDN. Програмно-конфігуровані мережі відкривають великі можливості для промисловості та бізнесу, дозволяючи забезпечувати підвищення пропускної здатності каналів, спрощувати управління мережею, здійснювати перерозподіл навантаження, підвищувати масштабованість мережі. Кожна компанія залежно від своїх можливостей і потреб має змогу впровадити рішення згідно з технологією SDN. Ідеться насамперед про хостерів і провайдерів, власників дата-центрів і операторів зв'язку, фінансові та банківські структури, телекомунікаційні компанії, яким упровадження SDN дозволить підвищити ефективність їхньої роботи.

**Постановка завдання**

Розглянемо такі основні питання.

**1. Класифікація:** як класифікувати вхідні потоки трафіку, що належать до різних мереж і послуг з урахуванням різних специфікацій, категоризації, вимоги щодо QoS і мереж доступу, яким належать або відповідають зазначені потоки.

**2. Відображення й адаптація:** як різномірні сесанси віднести до певного класу QoS, аби забезпечити максимальну ефективність роботи сесії та всіх її учасників. Окрім того, слід динамічно адаптувати заняття до нового класу QoS, коли будь-яка зміна відбувається з погляду композиції потоку вже встановленої сесії.

**3. Масове обслуговування і планування:** беручи до уваги набір класів QoS і вимог вхідних потоків, які формують сесанси, постає запитання: як планувальник може поєднати різноманітні та іноді й суперечливі вимоги QoS.

**Огляд існуючих систем**

У кожній безпроводовій мережі існує поняття *географічної області*. Одна географічна область складається з кількох місць. Кожне місце характеризується його географічним положенням, наявністю ресурсів у цій позиції та доступною кількістю проводових і безпроводових точок доступу. Ця інформація допоможе відстежувати користувача і гарантувати безперервність сесансу зв'язку при переміщенні між різними місцями обслуговування покриття при вертикальному або горизонтальному передаванні (рис. 1).

Ще одне поняття, пов'язане з концепцією безпроводової мережі, це *розташування*, передусім

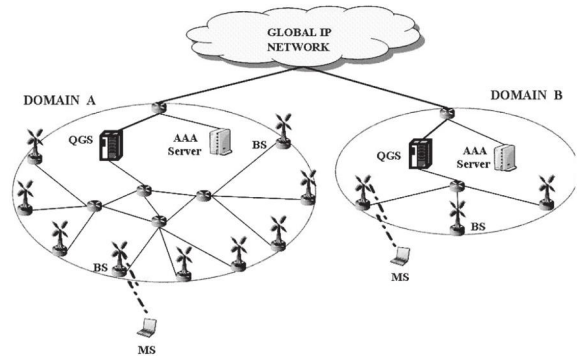


Рис. 1. Архітектура динамічної QoS

місцезнаходження користувача як одного з параметрів концепції. Вона також включає в себе доступні ресурси мережі й наявні технології (рис. 2), розташовані на відповідному місці, наприклад доступність безпроводової або проводової точки доступу, додатків, служб тощо, а також наявність інших користувачів у тому самому місці.

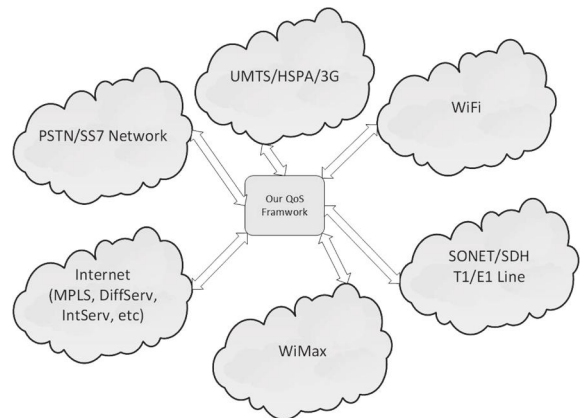


Рис. 2. Інтерфейси QoS із різними комунікаційними технологіями

Наприклад, для IEEE 802.11 існують три основні параметри QoS: затримка, пропускна здатність і доступність. Дослідження базується здебільшого на мережі доступу черг першого рівня, коли повністю відкидаються наступні два рівні впливу на загальні параметри QoS у мережі.

У такий спосіб було розроблено аналітичну модель [4] для мереж із трьома типами трафіку, яка дозволить звести до мінімуму такий важливий параметр QoS сесансу, як імовірність блокування виклику, за рахунок максимального використання мережних ресурсів. Ланцюг Маркова для трьох типів трафіку: голосу, перегляду веб-сторінок і іншого трафіку наведено на рис. 3.

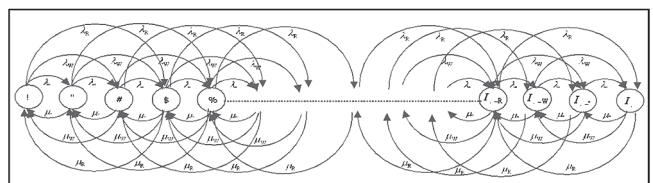


Рис. 3. Модель вищого порядку — ланцюг Маркова

### Масове обслуговування та планування, перехід до програмно-конфігурованих мереж

Сучасні мережі формують магістраль для різних послуг. Надання цих послуг по негнучкій комутованій мережі призводить до неоптимального використання мережних ресурсів. Значно ефективніше працює філософія SDN, де топологію мережі сконфігуровано на запитах мережних служб із можливістю реалізації QoS [5]. Сутність концепції SDN унаочнює рис. 4.

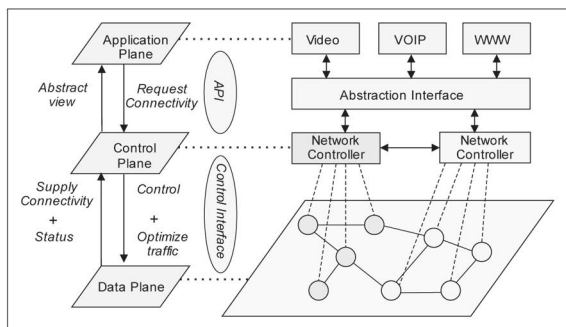


Рис. 4. Концепція SDN

Поняття SDN описується в трьох площинах, які не відповідають безпосередньо еталонній моделі OSI. Наведемо стислий опис цих площин.

- **Площина даних** — забезпечує можливість з'єднання. Мережні елементи складаються з Ethernet-комутаторів, маршрутизаторів і брандмауерів, із тією відмінністю, що керуюча логіка не виконує рішень стосовно передавання автономно на локальному рівні. Конфігурацію мережних елементів забезпечено через інтерфейс із площиною управління. Для оптимізації конфігурації дані мережі відправляються до мережного контролера.

- **Площина управління** — мережні контролери конфігурують мережні елементи передаванням правил, які передбачають необхідну продуктивність додатків і політику мережної безпеки.

Контролери містять передавальну логіку, звичай розташовану в комутаторах, але можуть бути вдосконалені з додатковою логікою маршрутизації. Об'єднана з фактичною інформацією про статус площини даних, площина управління може обчислити оптимальні налаштування переспрямування. До прикладного рівня мережі розділено через інтерфейс програмування додатків (API). API не містить деталей окремих з'єднань між елементами, але має достатньо інформації для додатків, щоб зробити запит стосовно можливості з'єднання.

- **Площина додатків** — додатки запитують можливість з'єднання між двома кінцевими вузлами з огляду на затримку, пропускну здатність і дескриптори доступності, отримані в абстрактному поданні від площини управління. Перевага перед традиційними мережами — динамічний розподіл запитів, оскільки відсутньому з'єднанню

не потрібна обробка на рівні локального комутатора. При цьому додатки можуть адаптуватися під QoS, що спирається на отриману статистику. Наприклад, зменшити пропускну здатність для додатків потокового передавання відео при високому навантаженні мережі.

Технологія SDN дає змогу оптимізувати мережний трафік, підвищити надійність і безпеку завдяки актуальній інформації про мережу. Традиційні комутатори діють на локальному рівні, використовуючи MAC-адреси для передавання. Центральна керуюча логіка діє в глобальному масштабі, обробляючи IP на мережному рівні і TCP на транспортному рівні. Існуючі протоколи маршрутизації можуть бути реалізовані на базі центральної керуючої логіки, яка забезпечує зменшення потреб у високовартісних мережних пристроях, таких як маршрутизатори, шлюзи і брандмауери. Принцип роботи комутатора SDN ілюструє рис. 5.

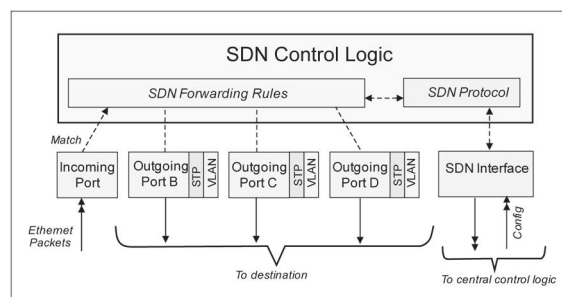


Рис. 5. Комутатор SDN

### Висновки

Відзначимо чотири головні переваги переходу до SDN — мереж наступного покоління [6].

**Перша перевага** полягає в розподілі ресурсів і політики безпеки на середовищах корпоративних мереж, де різними мережними параметрами можна керувати за допомогою технології SDN без необхідності використання додаткового обладнання. При цьому для корпоративних мереж головне — здатність керувати мережею централізовано.

**Друга перевага** — енергозбереження в центрах обробки даних. Фізичне обладнання, необхідне для забезпечення хмарних послуг, розташовується у великих дата-центрах. Дослідження показали, що 70% усієї електроенергії в центрах обробки даних використовується для охолодження, де на мережну інфраструктуру припадає 10-20% вартості електроенергії. Завдяки переспрямуванню трафіку через мережу за допомогою мережних контролерів SDN і вдосконалених алгоритмів завантаження комутатора можна зменшити, заощадивши електроенергію. Результати показують енергозбереження на рівні 25-62%, що означає нижчі експлуатаційні витрати в центрах обробки даних.

**Третю перевагу SDN** — централізоване управління — пропонується застосувати до мереж без-

проводового доступу (WLAN). Для WLAN передбачено введення облікових даних, пароля та інших заходів безпеки, перш ніж буде надано доступ до мережі. Користувачі ідентифікуються в прикладній площині, а централізовані контролери налаштовують безпроводову інфраструктуру, забезпечуючи передавання на рівні управління.

Четверта перевага реалізується в домашніх мережах і мережах підприємств малого бізнесу. Створення файлу подій і реалізація додаткових модулів безпеки до комутаторів і маршрутизаторів завдання непросте. Розширені модулі зі зручним інтерфейсом можна встановити в прикладній площині і тим самим захистити мережу від єдиної точки управління. Ведення журналу дозволить отримувати статистику від мережного і комп'ютерного обладнання.

Отже, технологія SDN може істотно поліпшити конфігурування мережі, хоча не передбачає нових мережних протоколів і стандартів. Ефективніше розгортання мережного обладнання поліпшить управління мережею, скоротить кількість пристроїв і підвищить ефективність.

#### Список використаної літератури

1. **M2M: From Mobile to Embedded Internet** / G. Wu, S. Talwar, K. Johnsson a. o. // *Communications Magazine, IEEE*.— Vol. 49, no. 4.— P. 36–43, Apr. 2011.

2. **Lei, H.** *Context-aware unified communication* / H. Lei and A. Ranganathan // *IEEE International Conference on Mobile Data Management*.— Berkeley, 2004.— P. 176–186.

3. **Stecca, M.** *A Platform for Smart Object Virtualization and Composition* / M. Stecca // *Internet of Things Journal, IEEE*.— May 2015.— Vol. 2, no. 6.— P. 604–613.

4. **Babu, R.** *Call Admission Control Mechanism for Optimal QoS in Next Generation Wireless Networks* / R. Babu and G. Satyanarayana // *Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS) International Conference*.— 2010.— P. 350–355.

5. **Elnaka, A.** *Real-Time Traffic Classification in Unified Communication Networks* / A. Elnaka and Q. H. Mahmoud // *IEEE International conference on selected topics in Mobile and Wireless Networking (MoWNet'2013), Montreal, Quebec*.— 2013.— P. 1–6.

**Рецензент:** доктор техн. наук, професор В. Г. Сайко, Державний університет телекомунікацій, Київ.

#### V. V. Vishnevskiy, G. I. Gaydur, K. P. Storchak, E. V. Prilepov КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕТЯХ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрены мировые тенденции развития сетевых технологий, а также проблемы, связанные со стремительным ростом трафика и неоптимальным использованием сетевых ресурсов. Проведен анализ существующих сетевых программно-конфигурируемых и Ethernet-коммутаторов и дано описание их основных функций. Раскрыты ключевые преимущества программно-конфигурируемых сетей, в том числе на базе технологии SDN, а именно: их влияние на централизованное управление, распределение ресурсов, политику безопасности, энергосбережения и на реализацию новых сетевых функций.

**Ключевые слова:** SDN; OpenFlow; QoS; API; программно-конфигурируемые сети; энергосбережение; централизованное управление; перенаправление трафика; коммутатор; отказоустойчивость; качество обслуживания; мониторинг.

#### V. V. Vishnevsky, G. I. Gaydur, K. P. Storchak, E. V. Prilepov QUALITY OF SERVICE IN NEXT GENERATION NETWORKS

This article discusses global trends in network technologies and the problems associated with the rapid growth of traffic and non-optimal use of network resources. The analysis of existing Ethernet network switches, and software-configurable. Description of the basic functions. The result is a description of the key benefits of software-configurable network (including SDN technologies) and their influence on the centralized management, resource allocation, security policy, energy efficiency and the implementation of new networking features.

**Keywords:** SDN; OpenFlow; QoS; API; software-configurable network; energy saving; centralized management; traffic redirection; switch; fault tolerance; quality of service; monitoring.

Передплату на загальногалузевий науково-виробничий журнал «ЗВ'ЯЗОК» можна оформити за «Каталогом видань України» та «Каталогом видань зарубіжних країн»:

- ❖ у відділеннях поштового зв'язку
- ❖ в операційних залах поштамтів
- ❖ у пунктах приймання передплати
- ❖ на сайті ДП «Преса» [www.presa.ua](http://www.presa.ua)
- ❖ на сайті УДППЗ «Укрпошта» [www.ukrposhta.ua](http://www.ukrposhta.ua)

**ПЕРЕДПЛАТНИЙ ІНДЕКС 74224**

