

передавання інформації тропосферними радіоканалами.

### Література

1. **Тепляков, И. М.** Радиосистемы передачи информации / [И. М. Тепляков, Б. В. Роцин, А. И. Фомин, В. А. Вейцель].— М.: Радио и связь, 1982.— 264 с.

2. **Ипполито, Л. Дж.** Влияние условий атмосферного распространения радиоволн на космические системы / Л. Дж. Ипполито // ТИИЭР.— 1981.— Т. 69, № 6.— С. 29–58.

3. **Крейн, Р. К.** Прогноз влияния осадков на спутниковые системы связи / Р. К. Крейн // ТИИЭР.— 1977.— Т. 65, № 3.— С. 210–231.

4. **Тормозов, В. Т.** Обеспечение устойчивости космических информационных систем двойного назначения: дис. ... доктора техн. наук: 05.12.13 / Тормозов Виктор Тимофеевич.— М., 2000.— 330 с.

5. **Козелков, С. В.** Підвищення завадостійкості контрольної-коригувальних станцій супутникових радіонавігаційних систем з урахуванням

впливу дестабілізуючих факторів / [С. В. Козелков, Н. В. Коршун, В. Ф. Заїка, М. М. Степанов] // Зв'язок.— 2015.— № 3 (115).— С. 3–6.

6. **AIAA 11<sup>th</sup> Communication satellite systems — confere ns.**— San Diego, California, 1986.— P. 298–307.

7. **Окунев, Ю. Б.** Теория фазоразностной модуляции / Ю. Б. Окунев.— М.: Связь, 1979.— 240 с.

8. **Заїка, В. Ф.** Використання способу адаптивного прийому радіосигналів з урахуванням нелінійних процесів у наземному радіотехнічному комплексі для підвищення точності наведення антенних систем наземного радіотехнічного комплексу управління низькоорбітальним угрупованням космічних апаратів подвійного призначення / В. Ф. Заїка // ПНТУ. Системи управління, навігації та зв'язку.— 2015.— № 1 (34).— С. 32–36.

**Рецензент:** доктор техн. наук, ст. наук. співробітник **В. С. Наконечний**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

*И. В. Мороз, В. Ф. Заика, С. В. Козелков*

### СПОСОБ АДАПТИВНОГО ПРИЕМА КРАЙНЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

Исследована возможность адаптивного приема крайне высокочастотных радиосигналов в каналах с частотно-селективными замираниями, что позволяет повысить помехоустойчивость радиотехнических устройств.

**Ключевые слова:** автокорреляционный прием; помехоустойчивость; когерентный прием; частотно-селективные замирания.

*I. V. Moroz, V. F. Zaika, S. V. Kozelkov*

### THE EXTREME HIGH-FREQUENCY RADIOSIGNALS ADAPTIVE RECEPTION METHOD

The possibility of extreme high-frequency radiosignals adaptive reception in channels with frequency selection fading is researched, allowing increase noise immunity of technical devices.

**Keywords:** autocorrelated reception; noise immunity; coherent reception; frequency selection fading.

УДК 621.391

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

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

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

**Є. В. ПРИЛЕПОВ**, аспірант;

**В. В. ВАСИЛЕНКО**, асистент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ

**Розглянуто світові тенденції розвитку мережних технологій, а також проблеми, пов'язані зі стрімким зростанням трафіку та неоптимальним використанням мережних ресурсів. Здійснено аналіз існуючих мережних програмно-конфігурованих комутаторів. Визначено ключові переваги програмно-конфігурованих мереж (зокрема, на базі технології SDN) і з'ясовано їхній вплив на централізоване управління, розподіл ресурсів, політику безпеки, енергозбереження та реалізацію нових мережних функцій.**

**Ключові слова:** SDN; OpenFlow; QoS; API; програмно-конфігуровані мережі; енергозбереження; централізоване управління.

### Вступ

Для того щоб мережа на базі технології SDN здобула успіх, ставши надійною та стійкою промисловою мережею, необхідно розв'язати передусім дві проблеми. Перша проблема полягає в забезпеченні часу відмовостійкості на рівні про-

мислових стандартів, оскільки поточна реалізація SDN [2] не відповідає необхідним вимогам щодо надійності. Друга проблема, яку конче потрібно розв'язати, стосується вибору певних (кільцевих) топологій і протоколів маршрутизації. Адже SDN уможливорює оптимізацію потоків трафіку через

мережу, завдяки чому ключовим рішенням має стати постійна оптимізація транспортних потоків через мережу, причому без жорстких вимог до самої мережі. Обидві проблеми мають бути вирішені без шкоди для масштабованості та гарантування безпеки в SDN.

Від початку адаптації SDN і OpenFlow до мережних інфраструктур було проведено багато досліджень у таких напрямках:

- масштабованість і продуктивність централізованого управління з огляду на зростання мережного трафіку та запитів;
- надійність і відмовостійкість мережі на противагу апаратним помилкам у мережі та помилкам централізованого управління;
- застосування механізмів безпеки, якості обслуговування (QoS) і моніторингу [1] у реалізації OpenFlow.

### *Аналіз публікацій*

Проведений аналіз методів керування мережею дає обґрунтування актуальності напрямку пропонованого дослідження. Зростання обсягів контенту та його урізноманітнення, розвиток сервісів і масштабів їх охоплення призвели до зміни парадигми організації обчислень — на місце клієнт-серверної архітектури прийшли центри обробки даних (ЦОД) і хмари, а файлові системи та бази даних трансформувалися в мережі зберігання даних. Що ж до обсягу трафіку в інтернеті, то він за останні п'ять років зріс утричі, а пропускна здатність сучасних каналів зв'язку за існуючих методів і засобів управління трафіком у мережах вже близька до вичерпання — нинішні темпи зростання пропускної здатності мережі не в змозі задовольняти зростаючі потреби користувачів. Починаючи з 2007 року щорічні темпи зростання пропускної здатності мереж у всьому світі становили близько 60%, проте дослідження фахівців IEEE показують, що пропускну здатність каналів зв'язку потрібно подвоювати раз на два роки.

Одночасно зі зростанням кількісних показників навантаження на мережі ускладнилися завдання керування мережами — збільшився їх перелік, підвищилися значимість і критичність, причому все це відбулося на тлі підвищення вимог до безпеки та 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), використовуючи водночас закриті (пропріетарні) інтерфейси. За таких умов провайдери не можуть оперативним чином вводити нові сервіси, а виробники мережного обладнання не можуть швидко модернізувати свої вироби для задоволення вимог замовників. Як наслідок, підтримка

і управління складною мережною інфраструктурою стали мистецтвом, а не інженерією. Це частково підтверджується зростанням мережних атак, вірусів та інших мережних загроз, що свідчить, у свою чергу, про відсутність надійних рішень у сфері безпеки.

Філософії SDN відкриває великі перспективи. Програмно-конфігуровані мережі стають незамінними для промисловості та бізнесу, дозволяючи істотно підвищувати пропускну здатність каналів, спрощувати управління мережею, здійснювати перерозподіл навантаження, підвищувати масштабованість мережі. Кожна компанія з огляду на свої потреби та завдання може впровадити відповідні рішення. Ця технологія становить інтерес для хостерів і провайдерів, власників дата-центрів і операторів зв'язку, фінансових та банківських структур, телекомунікаційних компаній, які завдяки впровадженню SDN працюватимуть дедалі ефективніше.

### *Постановка завдання*

Мета цієї статті — розкрити механізми підвищення ефективності функціонування IP-мереж за допомогою технології SDN.

Для розв'язання поставленого завдання необхідно розглянути функції стандартних Ethernet-комутаторів та комутаторів SDN, з'ясувати сутність переходу від перших до других і визначити переваги програмно-конфігурованої мережі.

### *Огляд існуючих систем*

Головне призначення Ethernet-комутаторів полягає в тому, щоб з'єднати вузли з локальною мережею для обміну пакетами даних. Еталонна модель взаємодії відкритих систем (OSI [3]) Ethernet-комутаторів включає в себе фізичний і каналний рівні. Ethernet розроблено як roadcasting механізм, призначений для виявлення ширококомовного каналу та здійснення передачі, коли канал не зайнятий. На фізичному рівні можна забезпечити 1000BASE-T по мідних кабелях крученої пари для локального розподілу даних зі швидкістю 1 Гбіт/с на відстань не більш як 100 м. Для збільшення відстані передавання можуть бути застосовані оптичні технології 1000BASE-ZX із використанням одномодового оптоволокна. Можливість з'єднання не обмежена фізичними лініями передавання. У мережах Wi-Fi Ethernet також прийнятий як стандарт. Отже, Ethernet придатний для різноманітних середовищ передавання, завдяки чому він став найпопулярнішим протоколом у мережах передавання даних.

Ethernet, описаний у стандарті IEEE 802.3 [4], виконує функції каналного рівня і розроблений для передавання пакетів даних. Без схеми адресації пакети даних не прибули б до місця призна-

чення, оскільки така схема засвідчує, що джерело і місце призначення безпосередньо пов'язані між собою. Ethernet надає схему адресації за допомогою протоколу управління доступом до середовища (MAC). Типове подання Ethernet-комутаторів наведено на рис. 1.

Протокол створює сполучне дерево в мережі, вмикаючи ті порти, вихідне посилання яких не є частиною дерева. Мережа, що використовує цей механізм, захищена від помилок, викликаних циклами.

**4. Забезпечення розподілу** мережних ресурсів між багатьма користувачами та групами користу-

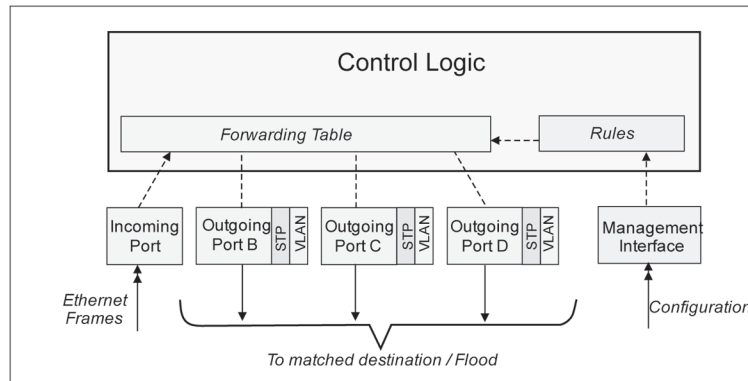


Рис. 1. Типове подання Ethernet-комутаторів

Ethernet-комутатор міститься на двох площинах. На фізичній площині є множинні входні та вихідні порти, керовані та конфігуровані керуючою логікою, у тому числі передавальною логікою для комутатора. Важливою частиною керуючої логіки є таблиця переадресації, яка містить список MAC-адрес, пов'язаних із відповідним портом. Адреса входного трафіку порівнюється з адресою в таблиці і в разі їх збігу трафік передається до коректного вихідного порту. Коли відповідності не знайдено, пакет лавинно розсилається по всіх портах, крім входного порту. Звідси випливають **чотири основні функції Ethernet-комутаторів.**

**1. Вивчення MAC-адрес** на базі входного трафіку. Ethernet фрейми містять і адреси призначення, і вихідні адреси. Вихідну адресу для входного трафіку додають до таблиці з відповідним входним портом.

**2. Передавання пакетів даних**, що має забезпечити надходження трафіку до коректного вихідного порту при збігу в таблиці переадресації. У разі невідповідності пакет, як уже зазначалося, лавинно розсилається по всіх вихідних портах, а отже, комутатори діють тільки локально, не володіючи глобальною інформацією для оптимізації потоків трафіку.

**3. Уникнення так званих циклів** — лавинного розсилання трафіку по мережі доти, доки не буде досягнуто місця призначення. Коли в мережі виникає цикл, процес лавинного розсилання не припиняється, бо таблиці переадресації деяких комутаторів у циклі не оновлюються. Комутатори, які не отримали оновлення таблиць, і надалі лавинно розсилають пакети даних, призводячи до перевантаження мереж. Для запобігання появі циклів більш удосконалені та керовані комутатори часто поліпшуються протоколом сполучного дерева (STP), стандартизованим в IEEE 802.1D [5].

ваців. Щоб розмежувати ці групи і створити окремі мережі, можна встановити більше комутаторів і сформувати комплексні мережі. Інший спосіб поділу трафіку даних реалізує додаток стандарту віртуальної локальної мережі (VLAN) [6]. Порти комутатора можуть бути призначені у віртуальній мережі VLAN. Трафік від різних віртуальних мереж розділений, оскільки передавання можливе тільки тоді, коли портам комутаторів присвоєно одні й ті самі позначення VLAN. У такий спосіб фізичний комутатор може бути застосований для багатьох груп, завдяки чому відпадає необхідність додаткових комутаторів.

Удосконалені комутаційні функції, такі як STP і VLAN, вимагають конфігурації на рівні локального комутатора, що призводить до багатьох ускладнень для великих мереж. Налаштування локального комутатора на рівні управління небажане. Адже навіть невеликі помилки можуть призвести до повної відмови мережі. Швидка адаптація до змінених характеристик трафіку — справа складна.

**Перехід до програмно-конфігурованих мереж**

У наш час мережі формують магістраль для різних послуг. Надання цих послуг по базі негнучкої комутованої мережі призводить до неоптимального використання мережних ресурсів. Найкраще вирішення знайдено за філософією SDN, коли топологію мережі сконфігуровано згідно із запитами мережних служб та можливістю реалізації QoS [7]. Сутність концепції SDN унаочнює рис. 2.

Поняття SDN описується **в трьох площинах**, які не відповідають безпосередньо еталонній моделі OSI. Стилий опис площин подамо згідно з рис. 2.

**1. Площина даних** — уможливлення з'єднань. Мережні елементи складаються з Ethernet-комутаторів, маршрутизаторів і брандмауерів.

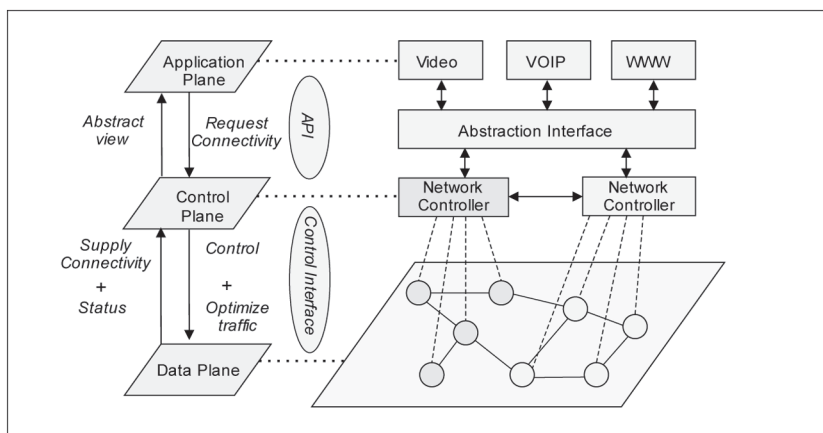


Рис. 2. Концепція SDN

При цьому керуюча логіка не виконує рішень щодо передавання автономно на локальному рівні. Конфігурація мережних елементів забезпечується через інтерфейс із площиною управління. Для оптимізації такої конфігурації дані відправляються до мережного контролера.

**2. Площина управління** — мережні контролери конфігурують мережні елементи передаванням правил, які спираються на необхідну продуктивність додатків і політики мережної безпеки. Контролери містять передавальну логіку, зазвичай розташовану в комутаторах, але можуть бути вдосконалені за рахунок додаткової логіки маршрутизації. Згідно з фактичною інформацією про статус площини даних площина управління може обчислити оптимальне налаштування перенапрявлення. До прикладного рівня мережі розділені через інтерфейс програмування додатків (API), що не охоплює деталей окремих з'єднань між елементами, але має достатньо інформації для додатків, аби дати запит про можливість з'єднання.

**3. 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 полягає в дина-

мічному розподілі запитів, оскільки відсутньому з'єднанню не потрібна обробка на рівні локального комутатора. Окрім того, додатки можуть адаптуватися під QoS на базі отриманої статистики. Наприклад, зменшити пропускну здатність для додатків потокового передавання відео в разі високого навантаження мережі.

Завдяки SDN є змога оптимізувати мережний трафік, підвищити надійність і безпеку завдяки актуальній інформації про мережу. Традиційні комутатори діють на локальному рівні й використовують MAC-адреси для передавання, тоді як центральна керуюча логіка діє на глобальному рівні, коли йдеться про використання IP на мережному рівні і TCP на транспортному рівні. Існуючі протоколи маршрутизації можуть бути реалізовані в центральній керуючій логіці, яка дає змогу скоротити потреби в дорогих мережних пристроях, таких як маршрутизатори, шлюзи й брандмауери в мережах. Принцип дії комутатора SDN ілюструє рис. 3. Як бачимо, основна функціональність комутатора залишається незмінна. Для зв'язку між комутатором SDN та централізованими контролерами необхідний додатковий протокол. Він має містити функціональність для налаштування правил переадресації портів, а також збирати й передавати інформацію про стан комутатора і статистику логіки центрального управління.

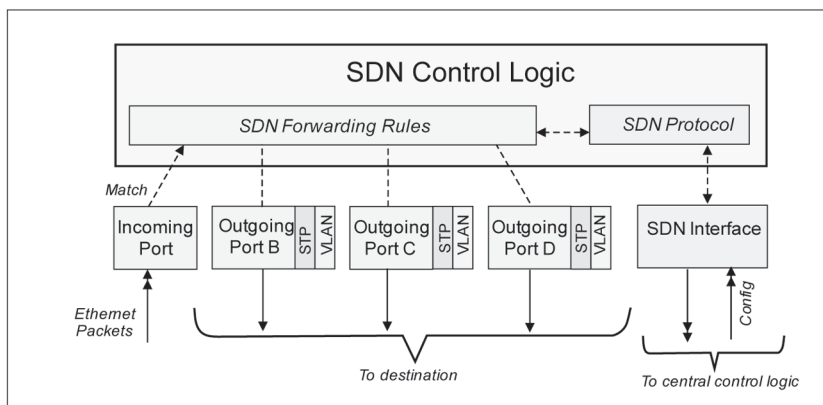


Рис. 3. Комутатор SDN

### Висновки

• Розкрито переваги щодо розподілу ресурсів і здійснення політики безпеки в середовищах корпоративних мереж, коли різними мережними параметрами можна керувати за допомогою технології SDN без використання додаткового обладнання. Головний вигравш полягає в централізації такого керування.

• Застосування технології SDN відчутно сприяє енергозбереженню в ЦОД. Фізичне обладнання, необхідне для забезпечення хмарних послуг, розташовується у великих ЦОД. Адже, як показало дослідження [9], 70% всієї електроенергії в ЦОД використовується для охолодження, тоді як на мережну інфраструктуру припадає 10-20% від вартості електроенергії. Завдяки раціональному трафіку через мережу за допомогою мережних контролерів SDN і вдосконалених алгоритмів завантаження комутатора можна зменшити, заощадивши електроенергію. Результати в [9] показують енергозбереження на рівні 25-62%, що означає більш низькі експлуатаційні витрати в центрах обробки даних.

• Філософія централізованого управління SDN застосовна й у разі мереж безпроводового 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 та забезпечують передавання на рівні управління.

• Застосування SDN сприяє розвитку домашніх мереж і мереж підприємств малого бізнесу. Це зумовлено тим, що створення файла подій і реалізація додаткових модулів безпеки до комутаторів і маршрутизаторів — завдання непросте. Розширені модулі зі зручним інтерфейсом можна вста-

новити в прикладній площині і тим самим уникнути в мережі єдиної точки управління. Ведення журналу дозволить отримувати статистику від мережного і комп'ютерного обладнання. Отже, SDN може посприяти вдосконаленню мережі. Філософія SDN не передбачає нових мережних протоколів і стандартів, але за її допомогою ту чи іншу мережну технологію може бути розгорнуто в інший спосіб. Вища ефективність розгортання мережного обладнання дасть змогу поліпшити управління та оптимізувати виробничу діяльність.

### Література

1. **Van Adrichem, Niels L. M.** *OpenNetMon: Network Monitoring in OpenFlow Software-Defined Networks* / Niels L. M. van Adrichem, Christian Doerr and Fernando A. Kuipers.
2. **Software Defined Networking: Meeting Carrier Grade Requirements** / [D. Staessens, S. Sharma, D. Colle a. o.].
3. **ITU-TX.** *Information technology — open systems interconnection — basic reference model: The basic model.* International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission, Tech. Rep. Recommendation 200 (1994) | ISO/IEC 7498-1: 1994, 1994.
4. **IEEE 802.3** standard for ethernet. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
5. **IEEE** standard for local and metropolitan area networks: Media access control (mac) bridges. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
6. **IEEE** standard for local and metropolitan area networks—media access control (mac) bridges and virtual bridged local area networks. Institute of Electrical and Electronics Engineers, WG802.1.
7. **Kuipers, F. A.** *Quality of service routing in the internet. theory, complexity and algorithms* / F. A. Kuipers.
8. **A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks** / [Bruno Nunes Astuto, Marc Mendonça, Xuan Nam Nguyen a. o.].
9. **Elastictree: Saving energy in data center networks** / [B. Heller, S. Seetharaman, P. Mahadevan a. o.].

**Рецензент:** доктор техн. наук, професор **Л. Н. Беркман**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

*V. V. Vishnevskiy, G. I. Gaydur, K. P. Storchak, E. V. Prilepov, V. V. Vasilenko*

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ

*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 коммутаторов. Определены ключевые преимущества программно-конфигурируемых сетей (в том числе на базе технологии SDN) и раскрыто их влияние на централизованное управление, распределение ресурсов, политику безопасности, энергосбережения и реализацию новых сетевых функций.*

**Ключевые слова:** SDN; OpenFlow; QoS; API; программно-конфигурируемые сети; энергосбережение; централизованное управление.

*V. V. Vishnevsky, G. I. Gaydur, K. P. Storchak, E. V. Prilepov, V. V. Vasilenko*

### THE ANALYSIS OF THE NETWORK MANAGEMENT METHODS

*The paper examines global trends of development of network technologies, the problems associated with the rapid growth of traffic and non-optimal usage of network resources. The analysis of existing software-defined network switches. It identified the key benefits of software-defined 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; and software-defined network; energy saving; centralized management.