

ПРОГРАМНО-ОРІЄНТОВАНІ МЕРЕЖІ SDN ТА 5G

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто підходи до побудови SDN, мережевої віртуалізації та мобільних хмарних обчислень у контексті розвитку 5G/6G. Показано, що SDN забезпечує централізоване програмне керування мережами завдяки розділенню площин керування та передачі даних, що підвищує гнучкість і масштабованість інфраструктури. Встановлено, що інтеграція SDN із NFV, VXLAN, MPLS, LISP та хмарними технологіями формує основу для високопродуктивних і відмовостійких мереж нового покоління. Використання edge computing, multihoming і multipath-передачі підвищує надійність мобільних сервісів.

Проаналізовано протоколи мобільності (Mobile IPv6, HMIPv6, SCTP, MPTCP), які забезпечують безшовний handover та ефективну передачу даних. Визначено основні виклики SDN: масштабованість, продуктивність, безпека та відмовостійкість. Результати підтверджують перспективність інтеграції SDN та хмарних технологій для розвитку мереж нового покоління.

Ключові слова: мобільність, телекомунікаційна мережа.

Abstract

The paper examines approaches to building SDN, network virtualization, and mobile cloud computing in the context of 5G/6G development. It is shown that SDN enables centralized software-based network management through the separation of the control plane and data plane, which increases infrastructure flexibility and scalability.

It is established that the integration of SDN with NFV, VXLAN, MPLS, LISP, and cloud technologies forms the basis for high-performance and fault-tolerant next-generation networks. The use of edge computing, multihoming, and multipath transmission improves the reliability of mobile services.

Mobility protocols (Mobile IPv6, HMIPv6, SCTP, MPTCP) are analyzed, providing seamless handover and efficient data transmission. The main challenges of SDN are identified as scalability, performance, security, and fault tolerance. The results confirm the prospects of integrating SDN and cloud technologies for the development of next-generation networks.

Keywords: mobility, telecommunication network.

Вступ

У сучасних умовах цифровізації, розвитку 5G/6G, IoT та хмарних сервісів зростає потреба у гнучких і масштабованих мережевих архітектурах, оскільки традиційні підходи не забезпечують достатньої адаптивності до динамічних навантажень [1].

Перспективним рішенням є SDN, яка базується на розділенні площин керування та передачі даних, що дозволяє реалізувати централізоване програмне управління мережею та підвищити ефективність використання ресурсів. Інтеграція SDN із 5G, NFV, SD-WAN та хмарними технологіями створює основу для мереж нового покоління, але водночас породжує виклики щодо масштабованості, продуктивності, відмовостійкості та безпеки [2].

Сучасні дослідження зосереджені на SDN-архітектурі, контролерах, відкритих інтерфейсах (northbound/southbound), а також на розподілених моделях керування, що підвищують продуктивність і зменшують затримки [3].

Окрему увагу приділено питанням відмовостійкості (резервування контролерів, failover, MTBF/MTTR), інтеграції SDN і NFV для 5G-сервісів, а також забезпеченню безпеки SDN-інфраструктур [4].

Попри значний прогрес, залишаються відкритими проблеми масштабованості, продуктивності та безпечної взаємодії компонентів SDN у великих гетерогенних мережах.

Метою роботи є дослідження принципів SDN у 5G-мережах та аналіз можливостей підвищення їх продуктивності, масштабованості, гнучкості та безпеки шляхом інтеграції з технологіями NFV та хмарними обчисленнями.

Результати дослідження

У результаті проведеного комплексного аналізу програмно-визначених мереж (SDN), мережних протоколів нового покоління та інфраструктури мобільних хмарних мереж встановлено, що сучасні телекомунікаційні системи переходять до програмно-керованих, віртуалізованих і хмарно-орієнтованих архітектур.

Визначено, що SDN є перспективною мережевою парадигмою, яка базується на розділенні площини керування та площини передачі даних, що забезпечує централізоване управління, підвищену гнучкість, масштабованість та автоматизацію мережних процесів. Архітектура SDN, що включає рівні застосунків, керування та даних із відповідними інтерфейсами (northbound, southbound, east/westbound), дозволяє ефективно керувати складними мережевими середовищами.

Встановлено, що ключову роль у розвитку програмно-керованих мереж відіграють протоколи OpenFlow, VXLAN, MPLS, TRILL та LISP, які забезпечують віртуалізацію мережних ресурсів, масштабовану сегментацію трафіку та підтримку багатокористувацьких хмарних середовищ. Зокрема, VXLAN дозволяє реалізувати до 16 млн логічних сегментів, що суттєво перевищує можливості традиційних VLAN і забезпечує ефективну ізоляцію орендарів у дата-центрах.

Показано, що інтеграція SDN із технологіями мережевої віртуалізації (NFV, VXLAN, LISP) та хмарними інфраструктурами створює основу для побудови високопродуктивних, еластичних і відмовостійких мереж нового покоління. Особливо ефективною є spine-leaf архітектура, яка покращує масштабованість і оптимізує маршрутизацію трафіку в центрах обробки даних.

У сфері мобільних мереж встановлено, що концепція Mobile Cloud Computing та інтеграція SDN/NFV забезпечують ефективний розподіл ресурсів, зменшення навантаження на мобільні пристрої та підвищення продуктивності сервісів. Використання edge computing, multihoming та multipath-передачі дозволяє підвищити надійність і безперервність обслуговування користувачів.

Аналіз протоколів мобільності (Mobile IPv6, HMIPv6, FMIPv6, SCTP, MPTCP) показав, що вони забезпечують підтримку безшовного handover, багатошляхової передачі даних та зниження затримок у гетерогенних мережах доступу.

Водночас визначено основні виклики розвитку SDN та мобільних хмарних мереж, серед яких масштабованість, продуктивність, безпека, оптимізація сигнального трафіку та забезпечення відмовостійкості.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що інтеграція SDN, мережевої віртуалізації та мобільних хмарних технологій є ключовим напрямом розвитку телекомунікаційних систем нового покоління, що забезпечує їх адаптивність, ефективність та високу якість обслуговування [5].

Висновки

У результаті проведеного комплексного дослідження встановлено, що програмно-визначені мережі (SDN), технології мережевої віртуалізації та мобільні хмарні мережі є ключовими компонентами розвитку телекомунікаційних систем нового покоління в умовах переходу до 5G-архітектур.

Підтверджено, що SDN-парадигма забезпечує централізоване, гнучке та програмно-кероване управління мережевими ресурсами завдяки розділенню площин керування та передачі даних, що дозволяє підвищити масштабованість, адаптивність та ефективність мережевої інфраструктури.

Встановлено, що сучасні протоколи мережевої віртуалізації (VXLAN, LISP, MPLS, TRILL) забезпечують ефективну сегментацію трафіку, підтримку багатокористувацьких середовищ і підвищення продуктивності центрів обробки даних, а їх інтеграція з SDN формує основу для побудови гнучких хмарних інфраструктур.

Доведено, що використання концепцій Mobile Cloud Computing, edge computing, а також ме-

ханізмів handover, multihoming і multipath-передачі даних у поєднанні з SDN/NFV підвищує рівень мобільності, доступності та безперервності сервісів у гетерогенних 5G-мережах.

Визначено, що основними викликами розвитку SDN залишаються питання масштабованості, продуктивності, відмовостійкості, безпеки та стабільності роботи контролерів, що зумовлює необхідність подальших досліджень у напрямі інтелектуалізації керування, автоматизації мережевих процесів та впровадження багаторівневих віртуалізованих архітектур.

Таким чином, інтеграція SDN, мережевої віртуалізації та мобільних хмарних технологій є перспективним напрямом розвитку телекомунікаційних систем, що забезпечує їх ефективність, гнучкість та відповідність вимогам мереж нового покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rahman M., Hasan M. Edge Intelligence and SDN Integration in IoT Systems // Internet of Things Journal. – 2025. – Vol. 12, No. 1. – P. 145–160.
2. Kumar R., Singh D. Adaptive Traffic Engineering in SDN-Based 6G Networks // IEEE Access. – 2025. – Vol. 13. – P. 11540–11563.
3. Zhang T., Wang C. Mobility Management in 5G and 6G Heterogeneous Networks Using SDN // IEEE Transactions on Mobile Computing. – 2025. – Vol. 24, No. 3. – P. 2145–2160.
4. Li P., Sun Y. Zero Trust Security Architecture for SDN-Based Enterprise Networks // IEEE Network. – 2025. – Vol. 39, No. 1. – P. 58–66.
5. Huang X., Chen Y. AI-Driven Resource Allocation in SDN-Enabled 6G Networks // IEEE Communications Letters. – 2026. – Vol. 30, No. 2. – P. 410–414.

Васильківський Микола Володимирович — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфо-комунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Топольський Олександр Сергійович — аспірант групи G5-25а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksandrtopolskyi@gmail.com

Радзієвський Ігор Володимирович — студент групи ПЗТ-22б, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: voldemar.vovik@gmail.com

Vasykivskyi Mykola V. — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Topolskyi Oleksandr S. — graduate student of group G5-25a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksandrtopolskyi@gmail.com

Radzïevskyi Ihor V. - student of group TSS-22b, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: voldemar.vovik@gmail.com