



## МЕТОД УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СПРИЙНЯТТЯ ПОСЛУГ ДЛЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ, ОСНОВАНИХ НА НАМІРАХ

М. Медвецький, М. Бешлей, А. Прислупський

Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

Відповідальний за рукопис: М. Медвецький (e-mail: michaelmedv@gmail.com)

(Подано 18 червня 2021)

У статті розроблено метод управління якістю сприйняття у програмно-конфігурованих мережах із використанням ідеології IBN. Так звана IBN (Intent-based networking) основана на архітектурі SDN (Software-Defined Network) і являє собою одну із найважливіших нових можливостей мережевої інфраструктури. IBN пропонує мережевим адміністраторам простий спосіб вираження бізнес-цілей, таких як забезпечення необхідного QoE, даючи змогу мережевому програмному забезпеченню автоматично досягати поставлених цілей із забезпечення рівня QoE. У статті описано розроблення і реалізацію системи моніторингу QoE (Quality of Experience) для майбутніх програмно-конфігурованих мереж на основі намірів (IBSDN), яка поліпшить якість обслуговування кінцевих користувачів і дасть змогу ефективніше використовувати мережеві ресурси. У статті також подано методи вимірювання параметрів програмно-конфігурованої мережі: затримки і втрати пакетів. Здійснено дослідження для оцінювання ефективності запропонованої системи QoE-моніторингу за допомогою генерації аудіо- та відеотрафіку в мережі Mininet.

**Ключові слова:** SDN; IBN; Mininet; QoE; QoS; ONOS.

**УДК:** 621.391

### 1. Вступ

З розвитком інформаційно-комунікаційних систем змінилися потреби і поведінка користувачів. Акцент зміщується від підвищення продуктивності мережі на поліпшення якості сприйняття обслуговування (Quality of Experience, QoE) [1–3]. Забезпечення відповідно до намірів користувачів заданого рівня QoE для послуг і додатків стає фундаментальним завданням під час реалізації наскрізного управління ресурсами в концепції мереж, основаних на намірах IBN [4]. IBN відома як розширення концепції Software-Defined Networking [5–7]. Основна ідея використання IBN полягає у зміні парадигми мережевої інфраструктури: тепер не користувач зі своїм додатком адаптується до можливостей мережі, а мережа змінює свої налаштування відповідно до вимог користувача. Отже, для інформаційних систем, основаних на технології IBN, завдання системних адміністраторів змінюється від ручного налаштування до програмування і визначення стратегії розвитку інтелектуальної мережі [8–10]. В майбутньому розроблена інформаційна технологія IBN дасть змогу автоматизувати управління всіма доменами мережі, урахуваючи кампуси, філії, WAN,

Інтернет речей, 5G і Big Data, забезпечуючи істотно новий рівень автоматизації, підвищуючи ефективність послуг, інновацій та мережевої інфраструктури [11].

Незважаючи на безперервний розвиток SDN (програмно-конфігурованих мереж) з моменту їх появи [12–15], існують деякі аспекти мережевих технологій, які не реалізовано належно. З огляду на вимоги сучасних мережевих середовищ, необхідно використовувати різні методи поліпшення якості обслуговування та інженерії трафіку для оптимізації потоків трафіку великої кількості додатків і різних типів трафіку, таких як голосовий трафік і відеотрафік [16–19]. Реалізація програм, які вирішували б ці проблеми, в деяких випадках може бути занадто складною і не завжди підтримується північними інтерфейсами. Використовувані методи управління якістю послуг орієнтовані переважно лише на технічні параметри якості обслуговування, тоді як сьогодні необхідні ефективні методи врахування мінливої думки користувачів під час управління якістю послуг, що давало б змогу враховувати їхні наміри щодо переконфігурації мережі. Отже, можливість врахування мінливих намірів користувачів щодо замовленого рівня QoE доволі важлива для розвитку основних завдань трафіку інжинірингу в контексті реалізації майбутніх IBN.

## 2. Моніторинг QoS/QoE у віртуальній програмно-конфігурованій мережі

У зв'язку із розвитком технологій з'являється потреба в автоматизації процесів налагодження інформаційно-телекомунікаційної мережі у разі надання неякісних послуг користувачеві. Нові рішення дадуть можливість пришвидшити моніторинг мережі на наявність вузлів мережі та оптимізувати час усунення несправностей. Щоб конкурувати за значну частку ринку, різні оператори мережі та постачальники послуг повинні зберігати та збільшувати передплату клієнтів. Для цього вони повинні виконувати мультимедійні вимоги QoE користувача. Для виконання цих вимог їм потрібен ефективний інструмент моніторингу та оцінки якості QoE. Проте QoE є суб'єктивною метрикою і може змінюватися залежно від сподівань користувачів та контексту. Крім того, суб'єктивне оцінювання QoE є дорогим і трудомістким, оскільки потребує участі людини. Тому існує потреба в інструменті, який може об'єктивно вимірювати QoE з обґрунтованою точністю.

Саме тому виникає потреба розробити якісне програмне забезпечення для моніторингу основних параметрів якості обслуговування QoS (затримки, втрат пакетів тощо) в SDN з метою визначення необхідного рівня якості сприйняття послуг кінцевими користувачами.

Підхід, який використовується для того, щоб забезпечити збереження QoE на задовільному рівні, – це періодичний моніторинг та оцінювання якості на основі їх статистичних даних. Зокрема, пропонується програмне забезпечення на контролері мережі обчислює найкоротший шлях між вихідним та кінцевим хостами, який буде основним шляхом передавання, а також другий найкоротший шлях (якщо такий існує), який буде резервним у разі незадовільної якості обслуговування в процесі передавання відеопотоку реального часу. Потім починається моніторинг якості; контролер SDN періодично збирає статистику із комутаторів (різні статистичні дані для кожного типу програми) і використовує їх для обчислення QoE рівня за п'ятибальною шкалою [20]. Якщо передбачуване значення нижче від вказаного порога, тоді автоматично встановлюються відповідні правила для перенаправлення трафіку на альтернативний шлях.

Для оцінювання досліджуваних систем або протоколів у мережевій інженерії рішення розгортається на симульованих або емулюючих мережах. Основною платформою для програмно-конфігурованих мереж є емулятор Mininet на базі Linux. Завдяки простій віртуалізації його доволі легко використовувати в дослідженнях, можливо також моделювати повноцінну велику мережу з віртуальними комутаторами і хостами на одній машині. А оскільки Mininet емулює мережу, а не моделює, параметри, конфігурації та додатки, протестовані в середовищі Mininet, можна застосовувати безпосередньо до реальних мереж. Mininet використовує Open vSwitch, широко підтримуваний програмний комутатор SDN, який застосовує протокол OpenFlow [21–25] для

зв'язку з контролером. Цей протокол є найпоширенішим південним інтерфейсом у SDN і ключовим у стандарті програмно-конфігурованих мереж. Протокол OpenFlow зазвичай використовують як віртуальні, так і фізичні комутатори і маршрутизатори, наприклад, комутатори Zodiac FX/GX [26–27] компанії NorthBound Networks.

Проблема забезпечення необхідної якості обслуговування існує як у традиційних, так і в програмно-конфігурованих мережах. Як відомо, в програмно-конфігурованих мережах площина управління відділена від площини даних, що дає змогу контролеру переглядати всю мережу й управляти нею (рис. 1). Також відкритість мережевих операційних систем, зручний і повний доступ до налаштувань мережевого обладнання відкривають доступ для упровадження програм, які дадуть змогу вирішити цю проблему.

Для прикладу розглянемо топологію мережі (рис. 1), у якій є два шляхи передавання даних від хоста1 (h1) до хоста2 (h2):

- Шлях № 1, найкоротший шлях: h1-s2-s3-h2, зелені стрілки.
- Шлях № 2, резервний шлях: h1-s2-s1-s3-h2, помаранчеві стрілки.

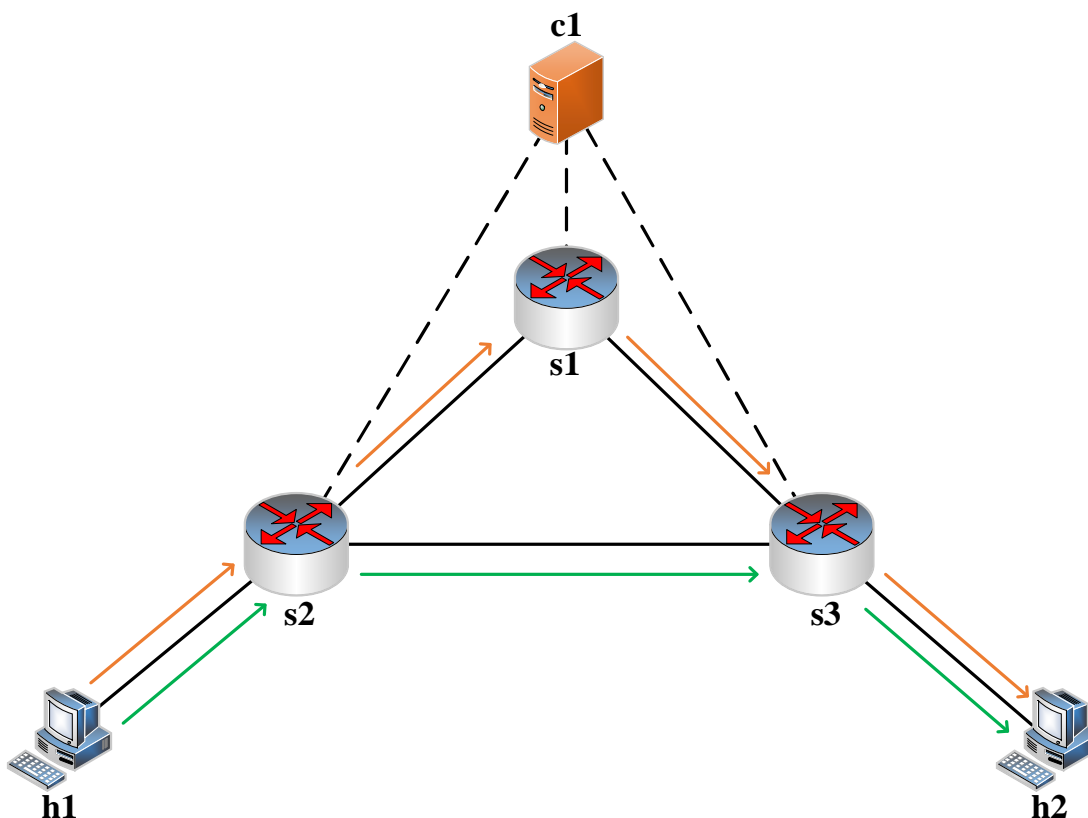


Рис. 1. Доступні шляхи передавання даних у SDN

За замовчуванням контролер вибирає найкоротший шлях до вузла призначення з огляду на те, що в реальній мережі параметри каналу, по якому відбуватиметься передавання, можуть не забезпечити якість послуг, необхідну для кінцевого користувача. Хоча альтернативний шлях на один вузол довший, він може бути менш завантажений, що забезпечить потрібну користувачеві якість обслуговування. Для реалізації вимірювання затримки в мережі використовують результати дослідження деяких відомих робіт [28], в яких для контролю часу затримки застосовано контролер, який використовує повідомлення протоколу OpenFlow, описані в специфікації OpenFlow. Для цього рішення використовують чотири типи повідомлень (табл. 1):

Таблиця 1

## Типи повідомлень в OpenFlow

<b>Packet_Out</b>	Повідомлення від контролера до комутатора, яке містить пакет даних для пересилання через певний порт
<b>Packet_In</b>	Повідомлення від комутатора до контролера, коли в таблиці потоків немає відповідного запису
<b>Statistics_Request</b>	Повідомлення від контролера до комутатора із запитом статистичних даних
<b>Statistics_Reply</b>	Повідомлення від комутатора до контролера, що містить запитувані статистичні дані

У цьому рішенні для вимірювання затримки контролер створює простий кадр Ethernet (рис. 2). Потім контролер звертається до комутатора s2, щоб він переслав цей пакет через певний порт за допомогою повідомлення Packet\_Out. Комутатор s3, отримавши цей пакет, пересилає його до контролера за допомогою повідомлення Packet\_In, оскільки для цього типу Ethernet немає відповіді. Затримку розраховують за такою формулою (1):

$$Latency = T_{total} - \frac{T_{s_1}}{2} - \frac{T_{s_2}}{2}, \quad (1)$$

де  $T_{total}$  – загальний час передавання;  $T_{s_1}$  – RTT між комутатором s1 та контролером;  $T_{s_2}$  – RTT між комутатором s2 та контролером.

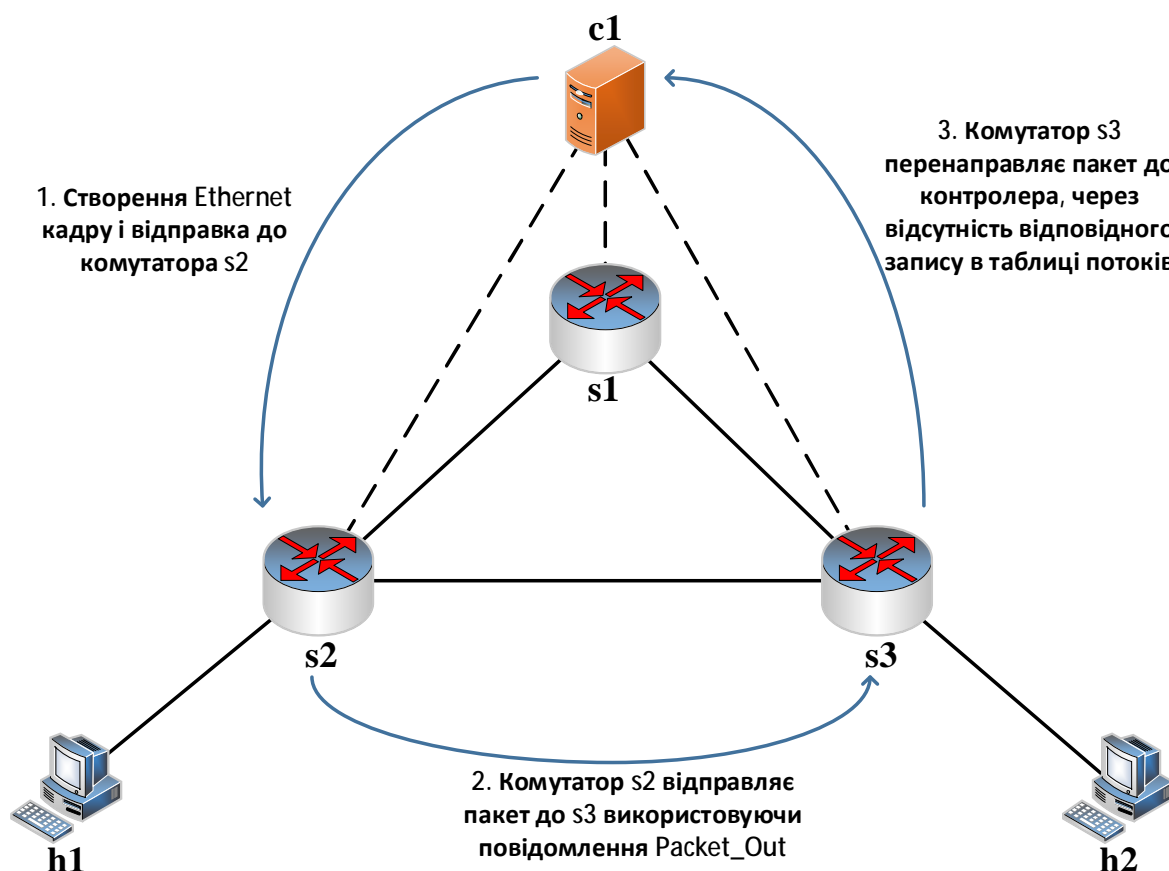


Рис. 2. Процес вимірювання затримки пакетів у мережі

Для реалізації вимірювання втрати пакетів у мережі контролер отримує статистику вихідних і вхідних пакетів комутаторів s2 і s3 (рис. 3). Згідно з отриманою статистикою переданих і прийнятих пакетів на відповідних комутаторах, контролер підраховує загальну кількість втрачених пакетів за формулою (2):

$$packet\_loss = input\_pkts - output\_pkts \quad (2)$$

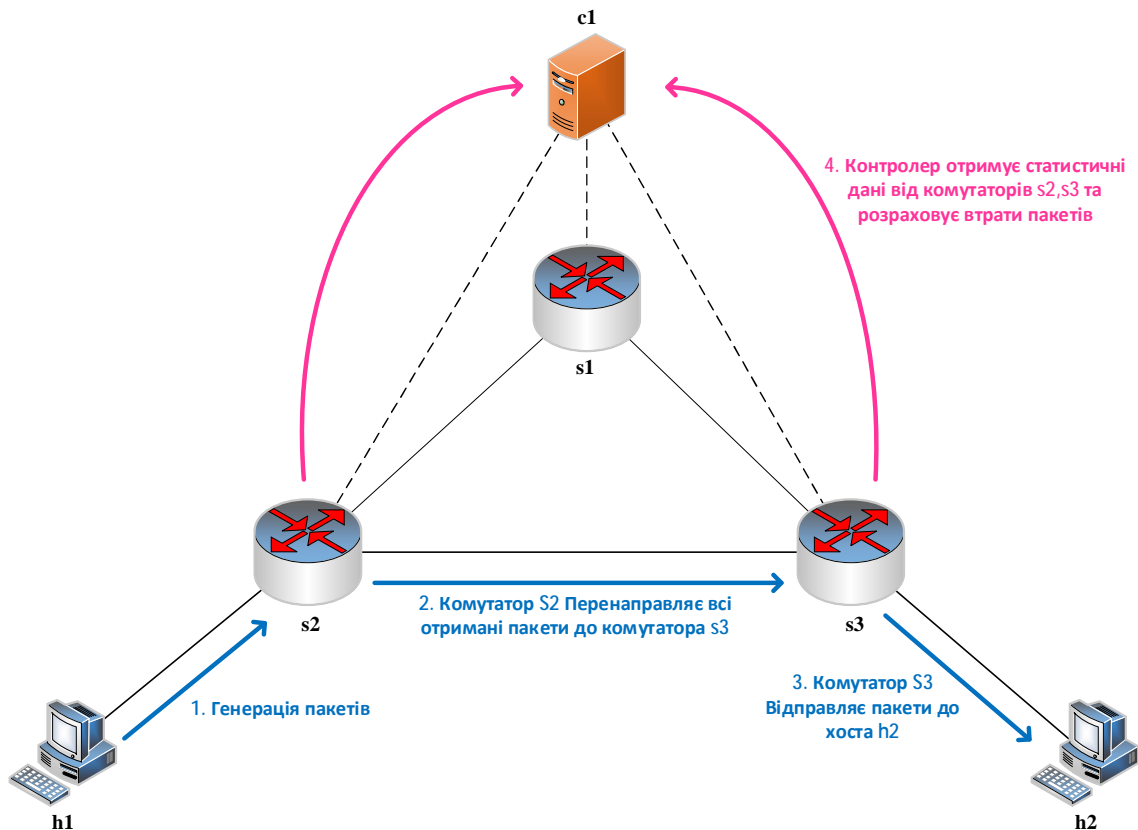


Рис. 3. Процес вимірювання втрат пакетів

### 3. Реалізація методу управління якістю сприйняття послуг у програмно-конфігурованих мережах

У цьому розділі викладено дослідження з реалізацією моніторингу QoE [29], щоб подолати зниження QoE і зберегти якість послуг, що надаються кінцевим користувачам, таких як VoIP і потокове відео. Реалізація основана на використанні контролера ONOS [30–33] із додатковою реалізованою функціональністю, для перемикавання шляху передавання на резервний шлях, який забезпечує кращу QoE оцінку для певного типу послуг, якщо основний шлях не працює або має незадовільну оцінку QoE. Реалізація, яка використовується для забезпечення підтримки QoE на прийнятному рівні, полягає у частому моніторингу та оцінюванні якості залежно від вимірних даних. Отже, контролер визначає найкоротший шлях між вузлами призначення і другий шлях, який буде резервним, якщо основний шлях забезпечить неприйнятну якість. Після цього ONOS збирає статистику із комутаторів і на підставі цих даних розраховує рівень QoE на основі математичної моделі кореляції QoE/QoS. Отже, якщо розраховане значення нижче від необхідного рівня, контролер змінює правила OF і перенаправляє трафік на альтернативний шлях. Алгоритм методу управління якістю сприйняття послуг у програмно-конфігурованих мережах подано на рис. 4.

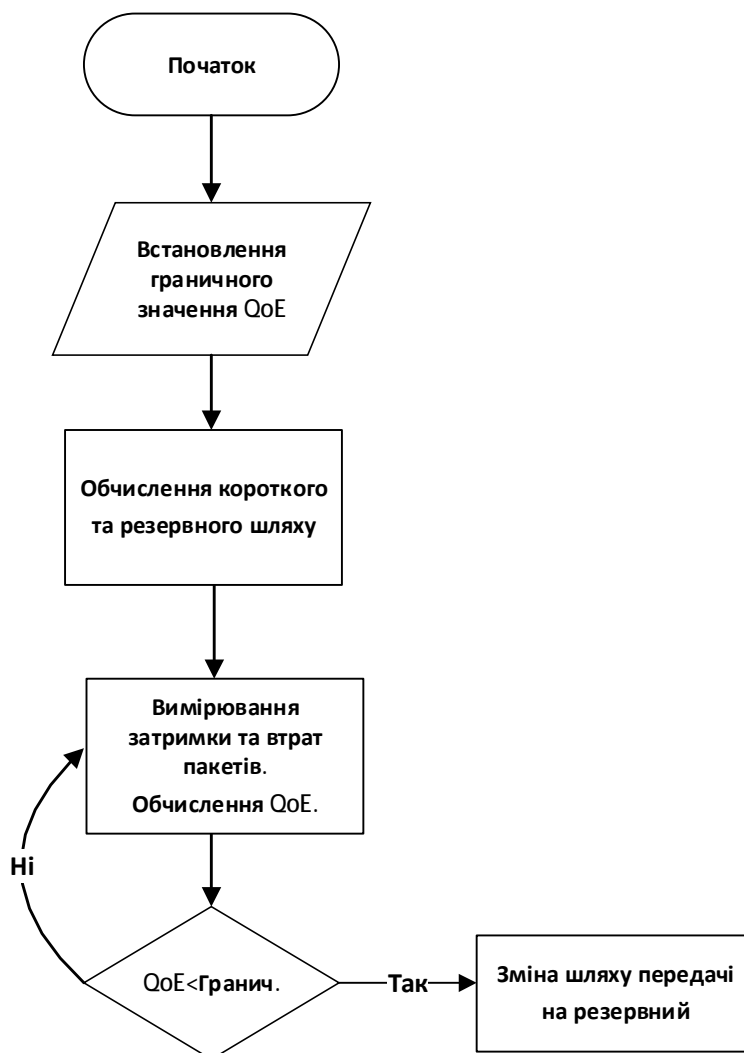


Рис. 4. Блок-схема методу управління якістю сприйняття послуг у програмно-конфігурованих мережах

Для демонстрації роботи програми проведено кілька досліджень із голосовим і відео-трафіком. Дослідження із голосовим трафіком проводилося протягом 12 секунд, трафік генерувався між хостами h1 і h2. Кожні 4 секунди параметри каналів зв'язку погіршувалися за рахунок введення втрат пакетів. У табл. 2 наведено результати для трафіку, отримані без системи моніторингу. Як видно, контролер не реагує на погіршення оцінки QoE, що призводить до незадовільної якості обслуговування.

Таблиця 2

**Виміряні параметри для VoIP-трафіку без системи моніторингу QoE**

Час, с	Затримка, с	Втрати пакетів, %	QoE
2	0,003	0	4,8
4	0,004	10,17	3,83
6	0,003	11,4	3,6
8	0,004	57,4	1
10	0,002	54,3	1
12	0,001	84,7	1

Таблиця 3

## Виміряні параметри VoIP-трафіку із системою моніторингу QoE

Час, с	Затримка, с	Втрати пакетів, %	QoE
2	0,005	0	4,73
4	0,006	9,54	3,76
6	0,003	10,35	3,89
8	0,005	62,57	1
10	0,003	5,38	4,04
12	0,001	0	4,85

На рис. 5 показано результати, отримані вище для порівняння системи моніторингу QoE і її впливу на якість наданих послуг, порівняно з випадком без моніторингу. Як видно, після досягнення критичного значення втрати пакетів контролер прийняв рішення перенаправити трафік по альтернативному шляху.

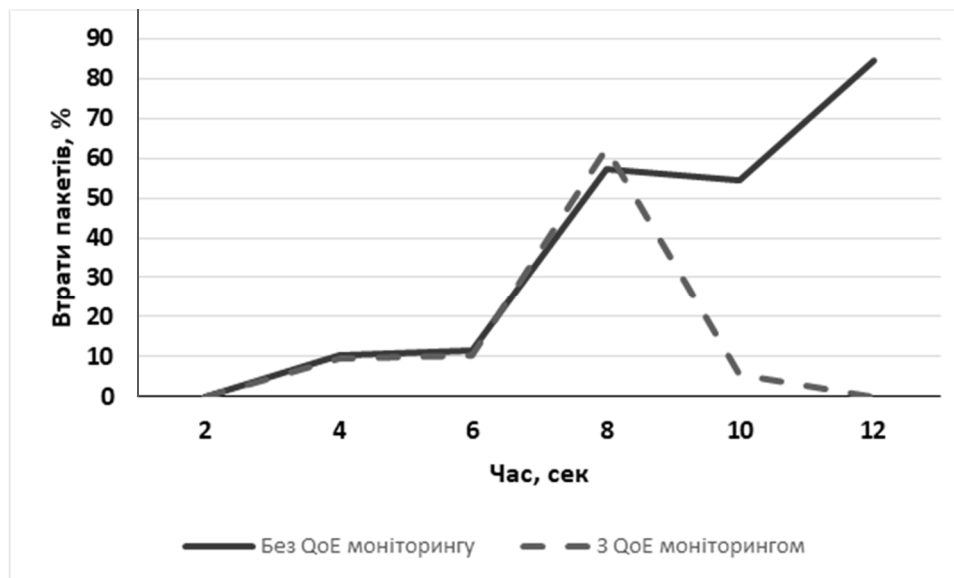


Рис. 5. Порівняння втрат пакетів для трафіку VoIP

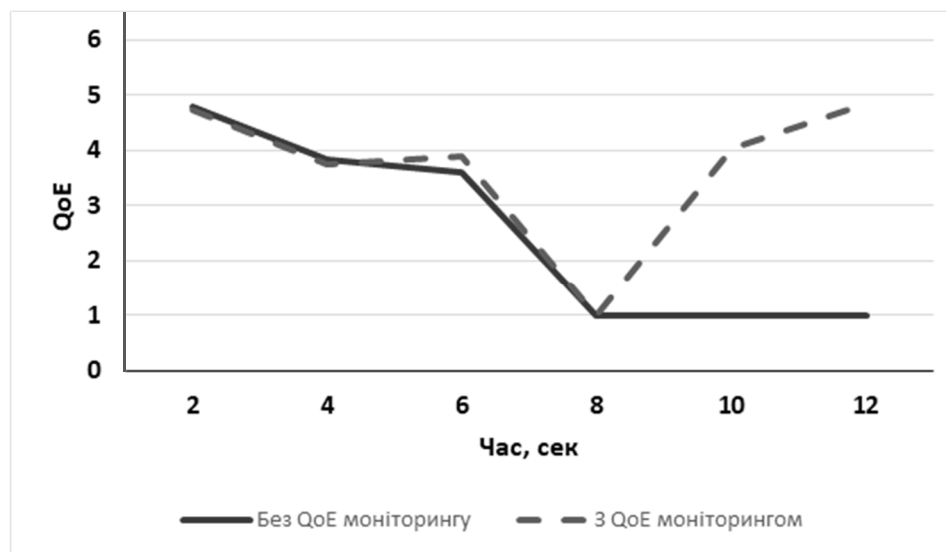


Рис. 6. Порівняння QoE із запропонованим методом та без нього для аудіотрафіку

У результаті запропоноване рішення забезпечує стабільну оцінку глобального QoE і підтримує його на необхідному рівні на основі вимірних даних у реальному тракті передавання даних, як показано на рис. 7.

Дослідження з потоковим відео проводилося протягом 12 секунд, трафік генерувався між хостами h1 і h2. Кожні 4 секунди параметри каналів зв'язку погіршувалися за рахунок введення втрат пакетів. Як видно, контролер не реагує на погіршення оцінки якості відео, що призводить до незадовільної якості обслуговування. Також здійснено експеримент для потокового відео з моніторингом QoE і переспрямуванням трафіку в разі незадовільної оцінки надання послуги. Порівняння отриманих результатів у графічному поданні показує, що запропонована система моніторингу дає змогу знизити кількість втрат пакетів і загалом поліпшити якість обслуговування у разі потокового відео (рис. 7–8).

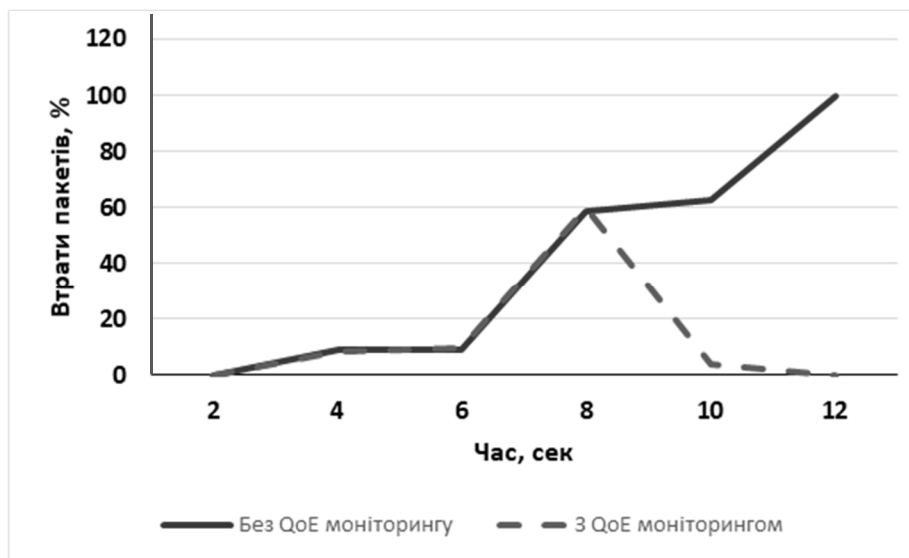


Рис. 7. Порівняння втрат пакетів для потокового передавання відео

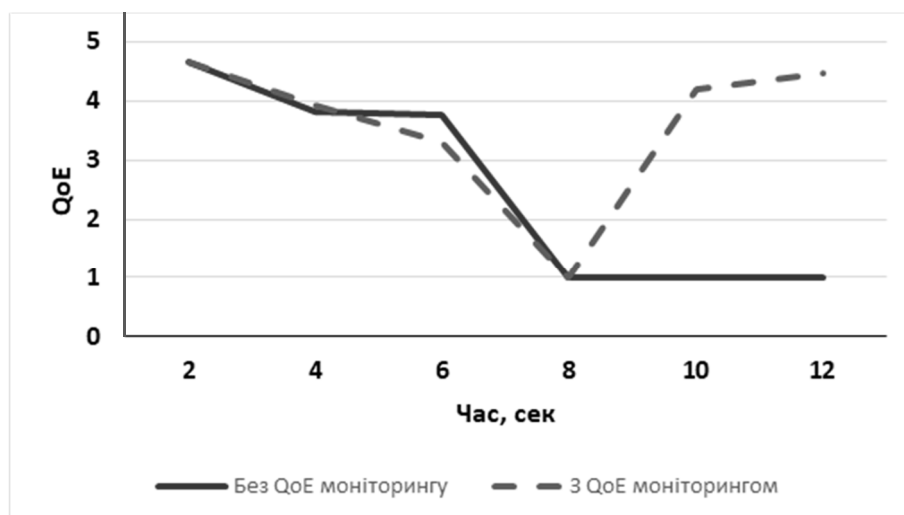


Рис. 8. Порівняння QoE із запропонованим методом та без нього для відеотрафіку

Отже, існує безліч переваг запропонованої програмно-конфігурованої мережі на основі намірів, які в майбутньому дадуть змогу підвищити масштабованість, доступність, керованість та якість обслуговування інфокомунікаційних мереж. SDN надає централізовано керовану систему, яка забезпечує гнучкість для задоволення потреб споживача. Система IBN забезпечує загалом автоматизованішу систему і гарантує, що конфігурація мережі не вимагатиме багато часу. IBN



також може надати адміністраторові гнучкість для виконання інших завдань, поки система IBN виконує свої завдання. Це гарантує, що ресурси можуть бути використані для інших, важливіших намірів, зокрема щодо замовлення необхідного рівня управління якістю сприйняття послуг.

## Висновки

У роботі подано структуру IBSDN для моніторингу якості VoIP і відеопотоків у реальному часі, яка дає змогу підтримувати QoE на прийнятному рівні, незважаючи на раптові проблеми в мережі, такі як відмова каналу. Цього досягають періодичним моніторингом необхідних параметрів QoS у мережі, щодо визначення оцінки QoE в реальному часі та зміни шляху передавання в разі низької якості, на яке вказує поріг. Цей механізм гарантує, що пакети завжди будуть передаватися по шляху, який підтримує прийнятний рівень якості сприйняття.

Реалізовану систему моніторингу та реалізації QoE-маршрутизацією оцінено і порівняно зі стандартною маршрутизацією. Виявлено, що нова система забезпечує набагато меншу кількість втрат пакетів, ніж стандартна маршрутизація, і, отже, набагато кращу якість сприйняття.

## Список використаних джерел

- [1] C. E. Rothenberg et al., “Intent-based Control Loop for DASH Video Service Assurance using ML-based Edge QoE Estimation”, 2020 6th IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft), Ghent, Belgium, 2020, pp. 353–355.
- [2] L. Wang and D. T. Delaney, “QoE Oriented Cognitive Network Based on Machine Learning and SDN”, 2019 IEEE 11th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), Chongqing, China, 2019, pp. 678–681.
- [3] A. A. Barakabitze et al., “QoE Management of Multimedia Streaming Services in Future Networks: A Tutorial and Survey”, in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 1, pp. 526–565.
- [4] M. Beshley, A. Pryslupskiy, O. Panchenko and M. Seliuchenko, “Dynamic Switch Migration Method Based on QoE-Aware Priority Marking for Intent-Based Networking”, 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 864–868.
- [5] B. E. Ujcich, A. Bates and W. H. Sanders, “Provenance for Intent-Based Networking”, 2020 6th IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft), Ghent, Belgium, 2020, pp. 195–199.
- [6] O. Panchenko et al., “Method for adaptive client oriented management of quality of service in integrated SDN/CLOUD networks”, 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2017, pp. 452–455.
- [7] B. Lewis, L. Fawcett, M. Broadbent and N. Race, “Using P4 to Enable Scalable Intents in Software Defined Networks”, 2018 IEEE 26th International Conference on Network Protocols (ICNP), Cambridge, 2018, pp. 442–443.
- [8] M. Beshley, A. Pryslupskiy, O. Panchenko and H. Beshley, “SDN/Cloud Solutions for Intent-Based Networking”, 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 22–25.
- [9] M. Bezahaf et al., “Self-Generated Intent-Based System”, 2019 10th International Conference on Networks of the Future (NoF), Rome, Italy, 2019, pp. 138–140.
- [10] A. Campanella, “Intent Based Network Operations”, 2019 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), San Diego, CA, USA, 2019, pp. 1–3.
- [11] M. Beshley, P. Vesely, A. Prislupskiy, H. Beshley, M. Kyryk, V. Romanchuk, I. Kahalo, “Customer-Oriented Quality of Service Management Method for the Future Intent-Based Networking”, Applied Sciences, vol. 10, no. 22, pp. 8223-1–8223-38. Nov. 2020.
- [12] M. Beshley, V. Romanchuk, M. Seliuchenko and A. Masiuk, “Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network test bed”, The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv, 2015, pp. 1–4.
- [13] K. Sivakumar and M. Chandramouli, “Concepts of Network Intent”, Internet Research Task Force Internet Draft, Oct. 2017.
- [14] T. Roscoe and D. Dimitrova, “Software defined networking, data centre perspective scalability & resilience”, Dec 20, 2017 2014. [Online].
- [15] H. Abdelgader Eissa, K. A. Bozed and H. Younis, “Software Defined Networking”, 2019 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Sousse, Tunisia, 2019, pp. 620–625, doi: 10.1109/STA.2019.8717234.

- [16] M. Klymash et al., "The researching and modeling of structures of mobile networks for providing of multiservice radio access", *Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske, 2012*, pp. 281–282.
- [17] S. Khorsandroo and A. S. Tosun, "An experimental investigation of SDN controller live migration in virtual data centers", *2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN), Berlin, 2017*, pp. 309–314.
- [18] M. Pham, "SDN applications – The intent-based Northbound Interface realisation for extended applications", *2016 IEEE NetSoft Conference and Workshops (NetSoft), Seoul, 2016*, pp. 372–377.
- [19] V. Chervenets, V. Romanchuk, H. Beshley and A. Khudyy, "QoS/QoE correlation modified model for QoE evaluation on video service", *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2016*, pp. 664–666.
- [20] "Download/Get Started with Mininet", <http://mininet.org/download/>, 2017.
- [21] "Installing new version of Open vSwitch", <https://github.com/mininet/mininet/wiki/Installing-new-version-of-Open-vSwitch>, February 2015.
- [22] "Mininet Walkthrough", <http://mininet.org/walkthrough/>, 2017.
- [23] "Mininet VM Setup Notes", <http://mininet.org/vm-setup-notes/>, 2017.
- [24] T. L. Foundation, "OVS, open vswitch", 2016. [Online]. Available: <http://openvswitch.org/>.
- [25] F. Pakzad, M. Portmann, W. L. Tan, and J. Indulska, "Efficient topology discovery in OpenFlow-based Software Defined Networks", *Computer Communications*, 2015. [Online].
- [26] "Zodiac FX User Guide", Zodiac FX, 02-Dec-2016. [Online]. Available: <https://northboundnetworks.freshdesk.com/support/solutions/35000113092>.
- [27] "Zodiac GX User Guide", Zodiac GX, 02-Dec-2016. [Online]. Available: <https://northboundnetworks.freshdesk.com/support/solutions/35000133459>.
- [28] K. Phemius and M. Bouet, "Monitoring latency with OpenFlow", *Proceedings of the 9th International Conference on Network and Service Management (CNSM 2013), Zurich, 2013*, pp. 122–125, doi: 10.1109/CNSM.2013.6727820.
- [29] M. Xezonaki, E. Liotou, N. Passas and L. Merakos, "An SDN QoE Monitoring Framework for VoIP and Video Applications", *2018 IEEE 19th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM), Chania, 2018*, pp. 1–6.
- [30] A. Koshibe, "Intent framework", 2016. [Online]. Available: <https://wiki.onosproject.org/display/ONOS/Intent+Framework>.
- [31] A. Koshibe, "Onos system components", 2014. [Online]. Available: <https://wiki.onosproject.org/display/ONOS/System+Components>.
- [32] M. Beshley, M. Seliuchenko, O. Panchenko, O. Zyuzko and I. Kahalo, "Experimental performance analysis of software-defined network switch and controller", *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 2018*, pp. 282–286.

## QOE MANAGEMENT METHOD FOR INTENT-BASED SOFTWARE-DEFINED NETWORKS

M. Medvetskyi, M. Beshley, A. Pryslupskyi

<sup>1</sup> Lviv Polytechnik National University, 12, S. Bandery Str., 79013, Lviv, Ukraine

The article is devoted to the development of a perception quality management method in software-defined networking using IBN ideology. The so-called IBN (Intent-based networking) is based on the well-known SDN (Software-Defined Network) and represents one of the most important new features of network infrastructure. IBN offers network administrators a simple way to express business goals, such as providing the necessary QoE, by allowing network software to automatically achieve these QoE goals. This paper presents the design and implementation of a QoE (Quality of Experience) monitoring system for future intent-based software-defined networking (IBSDN) that will improve end-user experience and allow more efficient use of network resources. The paper also presents methods for measuring network parameters: latency and packet loss. A study is conducted to evaluate the performance of the proposed monitoring system by generating audio and video traffic in Mininet network.

**Key words:** SDN; IBN; Mininet; QoE; QoS; ONOS.