

Таблиця 1

Типи повідомлень в OpenFlow

Packet_Out	Повідомлення від контролера до комутатора, яке містить пакет даних для пересилання через певний порт
Packet_In	Повідомлення від комутатора до контролера, коли в таблиці потоків немає відповідного запису
Statistics_Request	Повідомлення від контролера до комутатора із запитом статистичних даних
Statistics_Reply	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):

$$Latency = T_{total} - \frac{T_{s_1}}{2} - \frac{T_{s_2}}{2}, \tag{1}$$

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

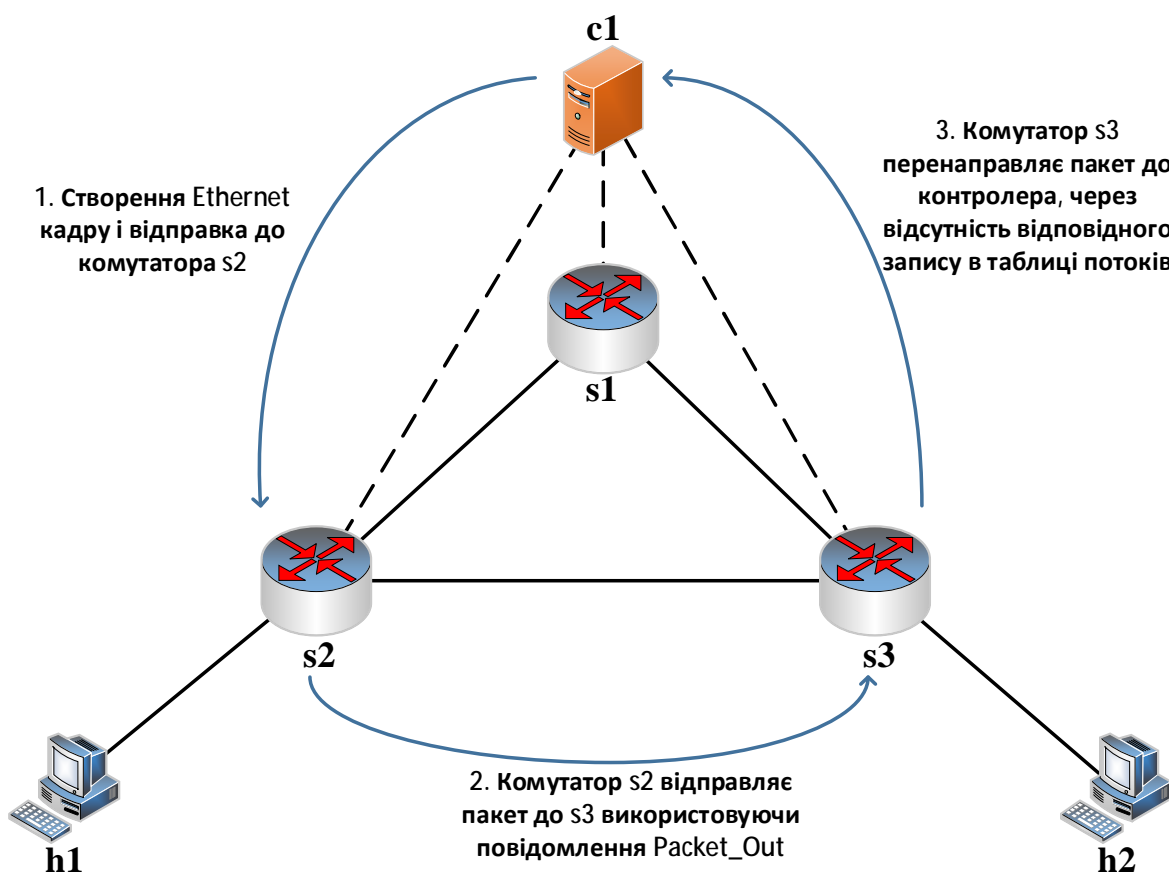


Рис. 2. Процес вимірювання затримки пакетів у мережі

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):

$$packet_loss = input_pkts - output_pkts \quad (2)$$

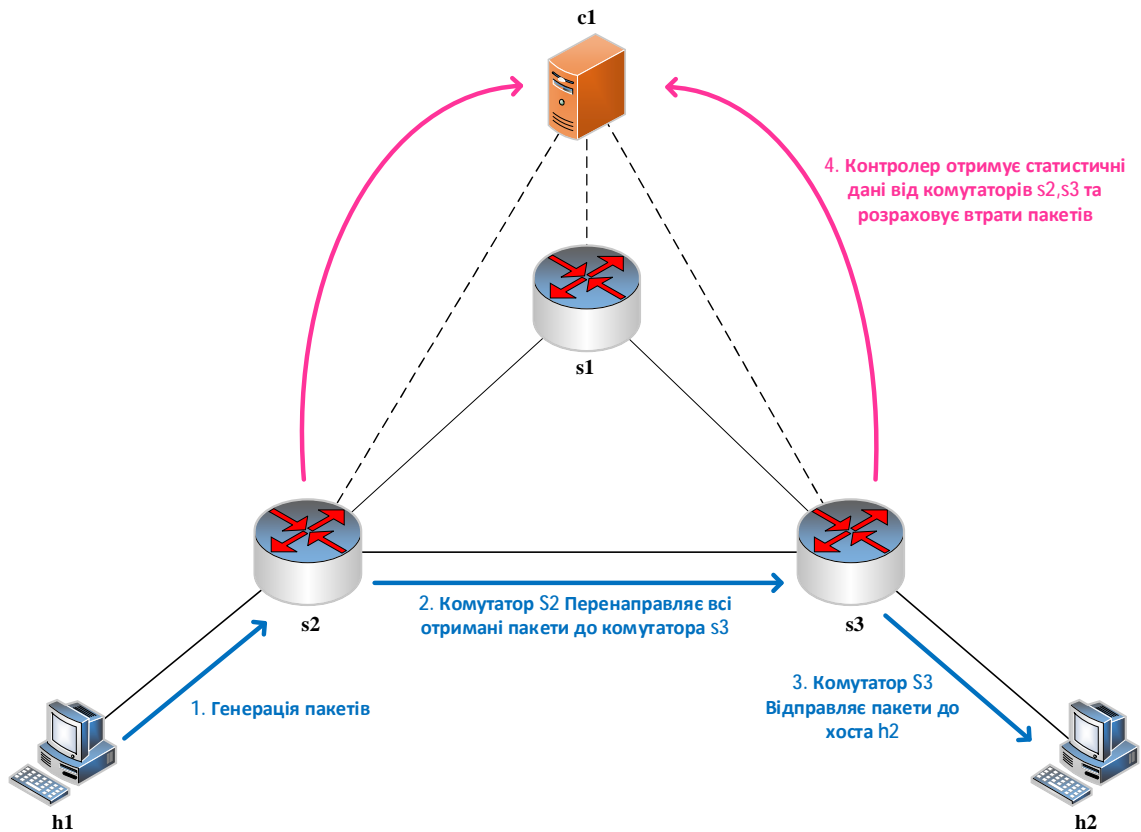


Рис. 3. Процес вимірювання втрат пакетів

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.

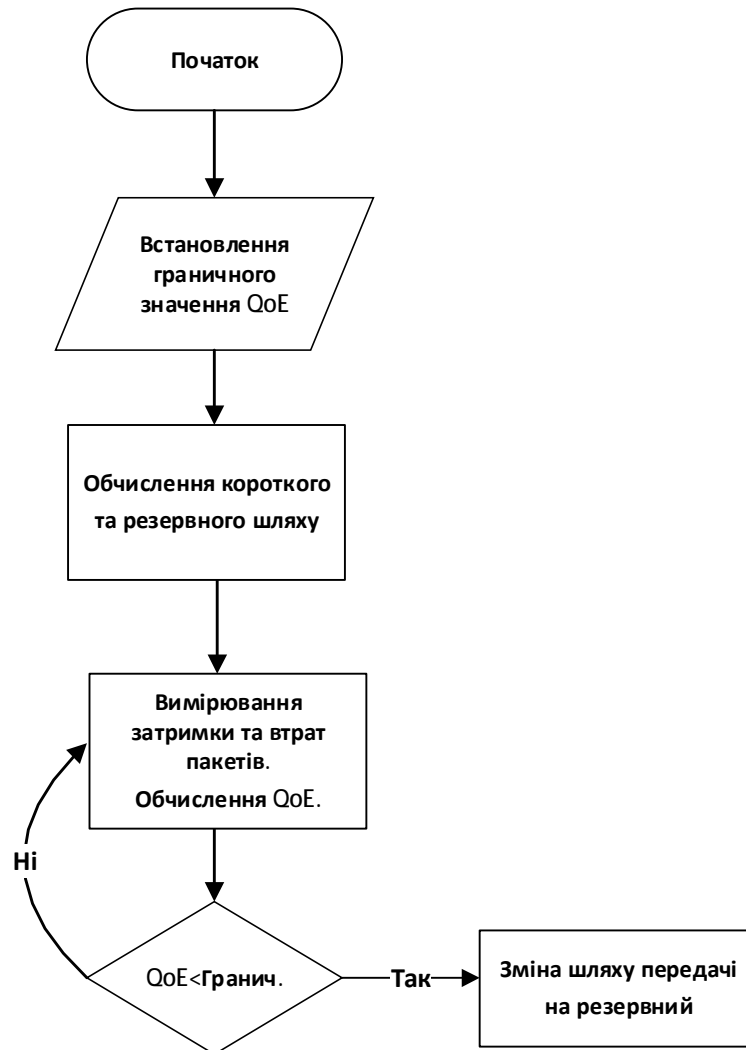


Рис. 4. Блок-схема методу управління якістю сприйняття послуг у програмно-конфігурованих мережах

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.

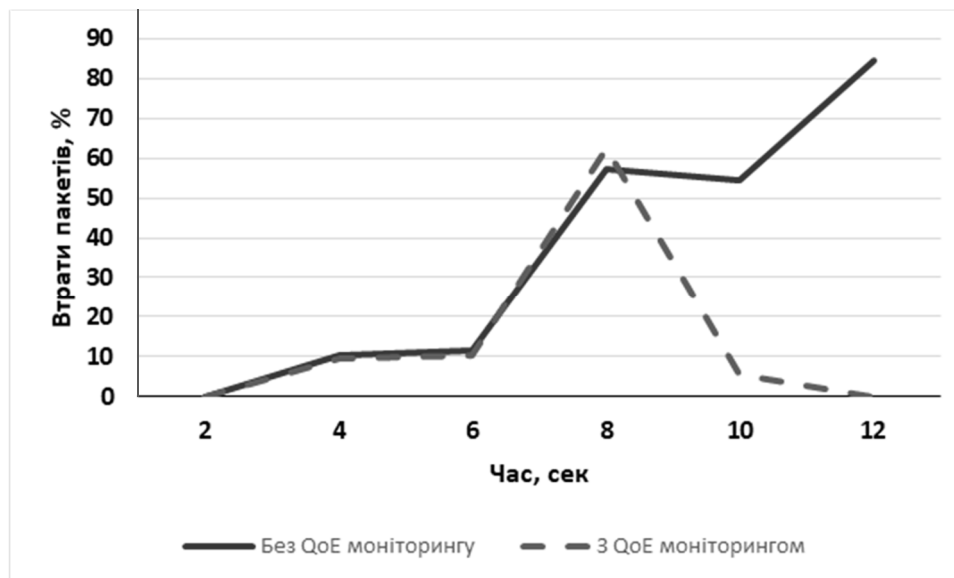


Рис. 5. Порівняння втрат пакетів для трафіку VoIP

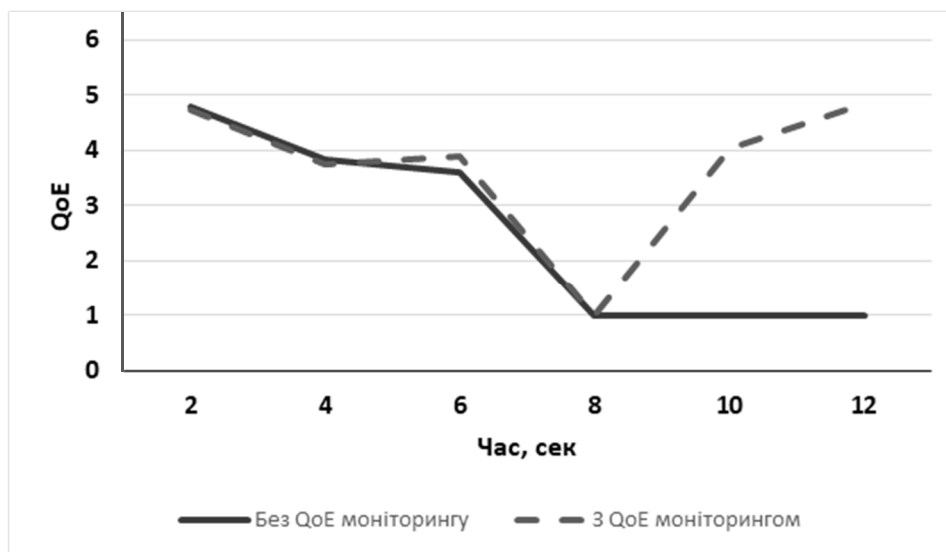


Рис. 6. Порівняння QoE із запропонованим методом та без нього для аудіотрафіку

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).

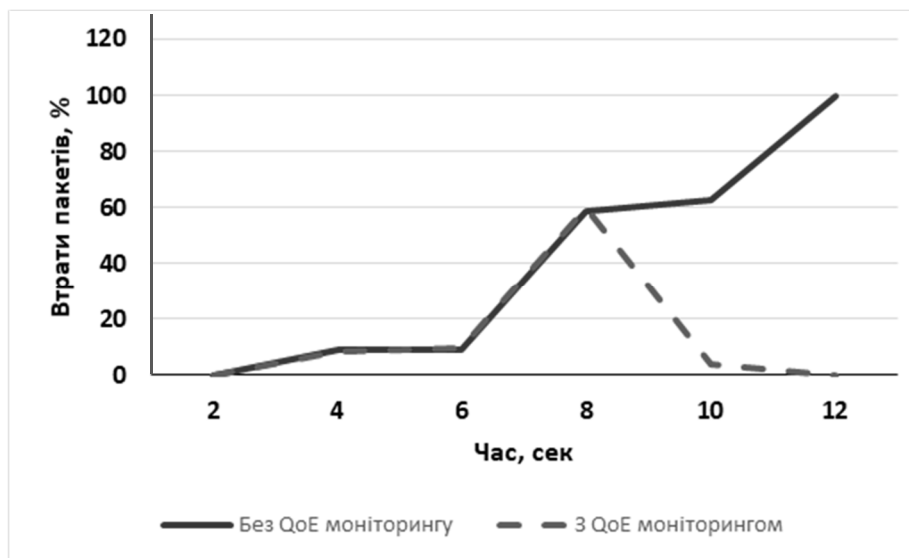


Рис. 7. Порівняння втрат пакетів для потокового передавання відео

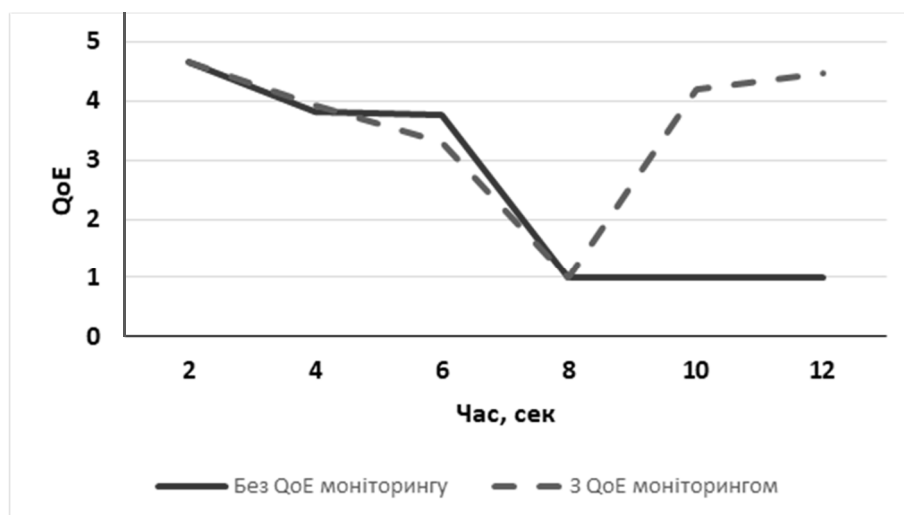


Рис. 8. Порівняння QoE із запропонованим методом та без нього для відеотрафіку

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 ІВН 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 ІВSDN 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

¹ Lviv Polytechnic 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.