

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ШОСТОГО ПОКОЛІННЯ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто методи підвищення інформаційної ефективності телекомунікаційних мереж шостого покоління (6G). Запропоновано підходи до оптимізації ресурсів мережі, маршрутизації трафіку та інтеграції граничних і туманних обчислень, що сприяє забезпеченню високої пропускної здатності, мінімальних затримок і підвищенню якості обслуговування. Розглянуто оптимізацію кількості контролерів у мультиконтролерних SDN-мережах, що дозволяє знизити енергоспоживання та витрати на розгортання. Визначено алгоритм кластеризації для оптимального розміщення маршрутизаторів у mesh-мережах із використанням БПЛА. Окрім цього, представлено метод маршрутизації трафіку, який враховує швидкість передавання даних, рівень навантаження та ймовірність втрат. Результати дослідження можуть бути використані для розбудови ефективних 6G-мереж, зокрема для забезпечення послуг телеприсутності та імерсивних технологій. Подальші дослідження можуть зосередитися на аналізі трафіку, що генерується костюмами телеприсутності, та застосуванні штучного інтелекту для мінімізації затримок у мережах.

Ключові слова: мережа шостого покоління, інформаційний трафік, штучний інтелект, ультранизька затримка.

Abstract

Methods for improving the information efficiency of sixth generation (6G) telecommunication networks are considered. Approaches to optimization of network resources, traffic routing and integration of edge and fog computing are proposed, which contributes to high throughput, minimal delays and improved quality of service. The optimization of the number of controllers in multi-controller SDN networks is considered, which reduces power consumption and deployment costs. The clustering algorithm for optimal placement of routers in mesh networks using UAVs is determined. In addition, a traffic routing method is presented that takes into account the data rate, load level, and loss probability. The results of the study can be used to build efficient 6G networks, in particular to provide telepresence services and immersive technologies. Further research could focus on analyzing the traffic generated by telepresence suits and applying artificial intelligence to minimize network delays.

Keywords: sixth generation network, information traffic, artificial intelligence, ultra-low latency

Вступ

За останні два десятиліття розвиток мереж зв'язку зазнав суттєвих змін. З'явилися новітні технології, які спочатку розширили спектр послуг для користувачів, зокрема сприяли розвитку мобільної телефонії. Згодом вони забезпечили ефективну передачу даних і відео, а нині вже змінили підходи до побудови мереж і спектру доступних послуг. Важливу роль у формуванні сучасного вигляду мереж зв'язку відіграли концепції Інтернету Речей та Тактичного Інтернету [1].

Перша сприяла створенню мереж із високою та надвисокою щільністю, тоді як друга забезпечила можливість зв'язку з ультранизькими затримками. У сукупності ці фактори зумовили необхідність комплексного використання ресурсів різних мереж і перетворили їх із гомогенних на гетерогенні [2].

Метою роботи є підвищення інформаційної ефективності телекомунікаційних мереж шостого покоління (6G) шляхом оптимізації розподілу ресурсів, покращення методів маршрутизації, інтеграції граничних і туманних обчислень, а також застосування інтелектуальних алгоритмів управління трафіком. Це сприятиме забезпеченню високої пропускної здатності, мінімізації затримок і підвищенню якості обслуговування для сучасних і перспективних послуг, зокрема телеприсутності та імерсивних технологій.

Результати дослідження

На початку третього десятиліття XXI століття стало очевидним, що незалежний розвиток мобільних і фіксованих мереж зв'язку не сприяє ефективній інтеграції всіх ресурсів для забезпечення сучасних послуг користувачам мереж загального користування. У процесі формування підходів до реалізації мереж шостого покоління (6G) виникла нова концепція розвитку мереж зв'язку, що ґрунтується на необхідності не лише інтеграції різних технологій у межах окремих мереж, а й об'єднання самих мереж. Ця концепція отримала назву інтегрованих мереж Космос-Повітря-Земля (SAGIN – Space-Air-Ground Integrated Networks) [3].

Очікується, що реалізація цієї концепції визначить широкий спектр наукових завдань і проблем щонайменше на найближче десятиліття. У цьому контексті актуальним є проведення досліджень, спрямованих на розробку та аналіз комплексу моделей і методів інтеграції граничних і туманних обчислень у мережах зв'язку п'ятого та шостого поколінь для глобального фрагмента Повітря-Земля в межах концепції SAGIN [4].

У галузі мереж 5G і наступних поколінь, високошвидкісних і надшвидкісних мереж, а також мереж зв'язку з ультранизькими затримками накопичено значний теоретичний та експериментальний досвід. Визначний внесок у дослідження цих наукових проблем зробили такі вчені, як M. Dohler, G. Fettweis, J. Hoesek, A. A. Ateya, M. Maier, M. Z. Shafiq та інші [5-7].

Роботи зазначених дослідників суттєво сприяли вивченню характеристик мережевого трафіку та якості обслуговування в мережах п'ятого та шостого поколінь, зокрема для таких послуг, як Інтернет Речей, передача даних, відео та телеконференції. Водночас, питання характеристик трафіку та якості обслуговування для послуг телеприсутності, а також методи їх реалізації в мережах зв'язку з ультранизькими затримками залишаються недостатньо дослідженими.

Теоретична значимість роботи полягає в дослідженнях, які дозволяють оптимізувати розподіл маршрутизаторів (точок доступу) мережі, розміщених на БПЛА, з урахуванням вимог до якості обслуговування. Це забезпечує формування зв'язної mesh-мережі та її інтеграцію з мережею рухомого зв'язку, що може бути застосовано як у сучасних, так і в перспективних мережах зв'язку. Крім того, у роботі запропоновано метод реалізації імерсивних технологій у мережах зв'язку п'ятого та шостого поколінь [8].

Запропонований метод оптимізації кількості контролерів у мультиконтролерних мережах SDN демонструє суттєві переваги порівняно з традиційними підходами. Завдяки динамічному управлінню він дозволяє зменшити середню кількість контролерів на 46%, що сприяє зниженню енергоспоживання, скороченню витрат на розгортання та підвищенню надійності мережі. Крім того, запропонований метод підвищує ефективність використання контролерів на 53% шляхом динамічного розподілу навантаження між ними, що додатково оптимізує витрати на розгортання мережі.

Також у роботі представлено алгоритм кластеризації, який є модифікацією алгоритму FOREL. Він забезпечує оптимальний вибір позицій маршрутизаторів для обслуговування користувачів, формування зв'язної mesh-мережі та її інтеграції з базовою станцією рухомого зв'язку. Модифікація алгоритму кластеризації, що включає перерозподіл елементів кластерів, дозволяє підвищити якість кластеризації шляхом вирівнювання кількості елементів у кожному кластері.

Висновки

Метод маршрутизації трафіку в mesh-мережі дозволяє обирати оптимальні маршрути на основі мінімізації інтегрального показника якості, який враховує досяжну швидкість передавання даних, рівень навантаження та ймовірність втрат.

Запропонований метод розподілу маршрутизаторів у рої БПЛА, а також на окремих чи прив'язних БПЛА є ефективним у випадках, коли зона зв'язку маршрутизатора менша за зону обслуговування.

Результати дослідження побудови інтелектуального ядра мережі зв'язку шостого покоління сприяють підвищенню ефективності існуючих підходів до розгортання мереж. У подальшому розвитку дослідження доцільно вивчити особливості трафіку, що генерується костюмами телеприсутності, а також розглянути можливість використання штучного інтелекту для зменшення затримок у мережах зв'язку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Y. Wang et al., “A Survey on Metaverse: Fundamentals, Security, and Privacy,” IEEE Commun. Surveys & Tutorials, DOI: 10.1109/COMST.2022.3202047, Sept. 2022.
2. M. Xu et al., “Wireless Edge-Empowered Metaverse: A Learning-Based Incentive Mechanism for Virtual Reality,” ICC 2022 — IEEE Int’l. Conf. Commun., Seoul, Korea, pp. 5220–25, DOI: 10.1109/ICC45855.2022.9838736, May 2022.
3. T. Huynh-The et al., “Artificial Intelligence for the metaverse: A Survey,” Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 117, Jan. 2023.
4. Z. Allam et al., “The Metaverse as A Virtual Form of Smart Cities: Opportunities and Challenges for Environmental, Economic, and Social Sustainability in Urban Futures” Smart Cities, vol. 5, no. 3, July 2022, pp. 771–801.
5. Taleb, T. 6G System Architecture: A Service of Services Vision / Tarik Taleb, Chaika Benzai d, Miguel Bordallo Lopez and etc. //ITU Journal on Future and Evolving Technologies, Volume 3, Issue 3, December 2022.
6. Muthanna, M.S.A., et al.: Deep reinforcement learning based transmission policy enforcement and multi-hop routing in QoS aware LoRa IoT networks. Comput. Commun.. Commun. 183, 33–50 (2022)
7. Mohan, A., Yezalaleul, J., Chen, A., Enkhjargal, T.: Seamless container migration between cloud and edge. CA, Santa Clara: Santa Clara University (2021)
8. Васильківський М., Коломієць А., Будащ М., Прикмета А., Олійник А. Технологічні аспекти впровадження програмно-керованих мереж 5G та 6G. Комп’ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2024. Вип. № 56. С. 335-344.

Олійник Андрій Олегович — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: w0lfend00@gmail.com

Будащ Михайло Володимирович — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mika@budash.dp.ua

Давискиба Владислав Іванович — студент групи ПЗТ-23мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vladdavis03@gmail.com

Науковий керівник: **Васильківський Микола Володимирович** — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Oliinyk Andrii O. — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: w0lfend00@gmail.com

Budash Mykhailo V. — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mika@budash.dp.ua

Davytskyba Vladyslav I. - student of group TSS-23mc, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladdavis03@gmail.com

Supervisor: **Vasylykivskiy Mykola V.** — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia