

МЕТОДИ ПОБУДОВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТУ МЕДИЧНИХ РЕЧЕЙ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено методи побудови телекомунікаційних мереж для Інтернету медичних речей (IoMT) з урахуванням вимог до якості обслуговування та ультрамалих затримок. Проаналізовано сучасні підходи до архітектури мереж зв'язку п'ятого і наступних поколінь, що забезпечують ефективне впровадження телемедичних послуг. Розглянуто концепцію децентралізації мереж для зменшення цифрового розриву між регіонами та підвищення доступності медичних послуг. Запропоновано метод кластеризації територій на основі щільності розташування користувачів телемедицини, інтенсивності трафіку та вимог до затримки. Отримані результати можуть бути використані для планування та проєктування телемедичних мереж, а також для подальших досліджень у сфері оптимізації медичних комунікацій та передачі тактильної інформації.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, інтернет медичних речей, машинне навчання, ультранизька затримка.

Abstract

The methods of building telecommunication networks for the Internet of Medical Things (IoMT) are investigated, taking into account the requirements for quality of service and ultra-low latency. Modern approaches to the architecture of fifth and subsequent generations of communication networks that ensure the effective implementation of telemedicine services are analyzed. The concept of network decentralization is considered to reduce the digital divide between regions and increase the availability of medical services. A method of clustering territories based on the density of telemedicine users, traffic intensity and delay requirements is proposed. The results obtained can be used for planning and designing telemedicine networks, as well as for further research in the field of optimizing medical communications and the transmission of tactile information.

Keywords: telecommunications network, Internet of Medical Things, machine learning, ultra-low latency.

Вступ

В останні десятиліття світова економіка зазнала суттєвих трансформацій завдяки стрімкому розвитку інформаційних технологій. Цифровізація проникла у всі сфери людської діяльності, змінюючи традиційні бізнес-моделі, форми комунікації та принципи організації виробничих процесів. Інтенсивний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій привів до формування нового економічного феномена — цифрової економіки, яка стала невід'ємною частиною сучасного суспільства. Основними технологічними складовими цього явища є штучний інтелект, Інтернет Речей, надщільні мережі з ультрамалими затримками, доповнена реальність, медичні мережі та хмарні обчислення. Саме ці технології забезпечують ефективну інтеграцію цифрових рішень у різні сфери діяльності, сприяючи підвищенню продуктивності, оптимізації процесів та створенню нових можливостей для бізнесу і суспільства в цілому [1].

Метою роботи є методи формування цифрових кластерів для впровадження телемедичних послуг у мережах зв'язку п'ятого та наступних поколінь.

Результати дослідження

Зміни у сфері систем і мереж телекомунікацій безпосередньо впливають на архітектуру мережі та спектр доступних послуг. Вимоги до сучасних телекомунікацій значною мірою зумовлені розвитком Інтернету Речей і Тактильного Інтернету [2]. Так, поява мереж зв'язку п'ятого покоління є не просто еволюційним продовженням розвитку інфокомунікацій, а необхідною відповіддю на виклики, пов'язані з високою щільністю підключених пристроїв (до 1 млн на 1 кв. км) і наднизькою затримкою передачі даних, що не перевищує 1 мс. Перша вимога виникла через стрімке зростання кількості при-

строїв, підключених до Інтернету. Ще у 2008 році їхня чисельність перевищила кількість жителів Землі [3], і за прогнозами, це співвідношення й надалі збільшуватиметься, досягаючи десятків мільярдів.

Тактильний Інтернет, що забезпечує передачу тактильних відчуттів через мережу, вимагає вкрай низької затримки для гарантування належної якості обслуговування та сприйняття. Однак через фізичні обмеження швидкості світла і специфіку його поширення у волоконно-оптичних лініях, відповідно до рекомендацій МСЕ-Т, ці послуги можуть ефективно надаватися лише в межах радіусу 50 км. Це означає, що оператори зв'язку повинні впроваджувати істотну децентралізацію інфраструктури для роботи мереж із ультрамалими затримками [4].

Крім того, вимоги щодо низької затримки є критично важливими для застосувань доповненої реальності (із затримкою не більше 5 мс), безпілотного транспорту та медичних мереж, де для забезпечення послуг у режимі реального часу необхідно дотримуватись затримки до 10 мс.

Дослідження суб'єктивного сприйняття якості доповненої реальності показали, що затримка в 5 мс не впливає негативно на користувацький досвід [5]. Однак більші значення призводять до спотворення сприйняття швидкості руху об'єктів через зниження частоти оновлення кадрів. Якщо ж затримка перевищує 25 мс, трафік втрачає самоподібність, що ускладнює прогнозування його поведінки та оцінку якості сприйняття. Серед найбільш перспективних напрямів застосування інфокомунікацій особливе місце займає сфера охорони здоров'я. Впровадження нових технологій сприятиме підвищенню доступності медичних послуг і, відповідно, зменшенню цифрового розриву між різними регіонами. При цьому вимоги до затримки залишаються аналогічними до тих, що застосовуються в доповненій реальності, оскільки технології можуть використовуватися для дистанційного надання медичних послуг, зокрема телеконсультацій і теленавчання [6].

Дослідження в галузі мереж зв'язку з ультрамалими затримками ведеться низкою науковців, серед яких А.А.А. Ateya, М. Dohler, G.P. Fettweis, Z. Li, М. Maier, Р. Popovski, Т. Taleb, М. Uusitalo та інші. Вони активно беруть участь у розробці рекомендацій щодо архітектури мереж 2030 [7, 8].

У своїх роботах ці автори зосереджуються на питаннях організації мереж зв'язку з жорсткими вимогами до затримки, необхідними для функціонування Тактильного Інтернету, доповненої реальності тощо. Проте недостатньо уваги приділяється проблемі подолання цифрового розриву між регіонами шляхом розширення спектра послуг або трансформації мережевої структури [9].

На сьогодні актуальним є питання організації мереж на основі нового підходу, адже забезпечення ультрамалих затримок можливе лише на обмежених відстанях між точками надання послуг і користувачами. Це вимагає децентралізації мережевої інфраструктури та поділу територій на цифрові кластери з урахуванням щільності населення.

Отже, в роботі вирішується наукове завдання прогнозування кількості користувачів телемедичних послуг на горизонті до 2030 року та розробки методу формування цифрових кластерів мережі для першого набору телемедичних сервісів із урахуванням вимог до якості обслуговування.

Практична значимість роботи полягає у встановленні залежності величини затримки від щільності населення, інтенсивності трафіку та тривалості обслуговування пакетів для першого набору телемедичних послуг. Важливим практичним результатом є розробка нового методу кластеризації територій, який враховує густоту розташування користувачів телемедичних сервісів, а також створення алгоритму дій для формування технічного завдання з проєктування телемедичної мережі.

Висновки

Аналіз вимог до мереж зв'язку на горизонті до 2030 року дозволив визначити концепцію мереж з ультрамалими затримками (uRLLC) як ключовий напрям для реалізації послуг телеприсутності та рішень у сфері телемедицини. Враховуючи фундаментальні обмеження, зумовлені швидкістю поширення світла, необхідною умовою стає децентралізація мережі, що може сприяти зменшенню цифрового розриву в різних регіонах країни. Отримані результати рекомендується застосовувати для вирішення завдань планування та проєктування мереж зв'язку під час впровадження першого набору телемедичних послуг.

Перспективи подальших досліджень включають розширення спектра аналізованих характеристик мережі, розробку нових методів обробки медичних даних і тактильної інформації, що сприятиме глибшому вивченню особливостей функціонування телемедичних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Aruchamy, P., Gnanaselvi, S., Sowndarya, D., An artificial intelligence approach for energy-aware intrusion detection and secure routing in internet of things-enabled wireless sensor networks. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 1–33, 2023.
2. Jayachitra, S., Prasanth, A., Hariprasath, S., AI enabled internet of medical things in smart healthcare. *AI Models for Blockchain-Based Intelligent Networks in IoT Systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, 6, 141–161, 2023.
3. Wang, X., Wu, Y., Fog-assisted internet of medical things for smart healthcare. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1: 391–399 2023.
4. Taherdoost, H., Blockchain-based Internet of Medical Things. *Applied Sciences*, 13, 1287, 2023.
5. Bhatt, M. W., Sharma, S., An IoMT-based approach for real-time monitoring using wearable neuro-sensors. *Journal of Healthcare Engineering*, 2023, 1–10, 2023.
6. Subhan, F., Mirza, A., Su'ud, M. B. M., Alam, M. M., AI-enabled wearable medical internet of things in healthcare system: A survey. *Applied Sciences*, 13, 1394, 2023.
7. Kavitha, M., Roobini, S., Prasanth, A., Sujaritha, M., Systematic View and Impact of Artificial Intelligence in Smart Healthcare Systems, Principles, Challenges and Applications, *Machine Learning and Artificial Intelligence in Healthcare Systems*, 21, 25–56, 2023.
8. Jayachitra, S., Prasanth, A., Hariprasath, S., AI Enabled Internet of Medical Things in Smart Healthcare, *AI Models for Blockchain-Based Intelligent Networks in IoT Systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, 141–161, 2023.
9. Ghosh, P. K., Chakraborty, A., Hasan, M., Siddique, A. H. Blockchain application in healthcare systems: A review. *Systems*, 11, 38, 2023.

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

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

Венгер Ілля Сергійович — студент групи ПЗТ-23мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ilya.venger098765@gmail.com

Vasylykivskyi 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

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

Venher Illia S. - student of group TSS-23mc, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ilya.venger098765@gmail.com