

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕРЕЖІ 6G НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Сучасний етап розвитку телекомунікаційних систем характеризується стрімким переходом до концепції інтелектуальних бездротових мереж шостого покоління (6G), які забезпечують значне підвищення швидкості передавання даних, мінімізацію затримок та підтримку масового підключення пристроїв. У роботі розглянуто інтеграцію передових технологій, зокрема штучного інтелекту, машинного навчання, вбудованих систем, Інтернету речей, квантових обчислень, хмарних і периферійних обчислень, як основу формування інтелектуальних телекомунікаційних систем нового покоління. Показано, що застосування методів машинного навчання забезпечує ефективну оптимізацію мережевих ресурсів, прогнозування навантаження, автоматизацію управління та підвищення якості обслуговування. Вбудовані та периферійні обчислювальні системи реалізують обробку даних у режимі реального часу, зменшуючи затримки та підвищуючи енергоефективність мереж. Встановлено, що використання когнітивних радіомереж і алгоритмів штучного інтелекту сприяє більш ефективному управлінню радіочастотним спектром. Інтеграція технологій обробки сигналів, великих даних та IoT забезпечує підвищення продуктивності, надійності та масштабованості бездротових систем. Особливу увагу приділено питанням кібербезпеки, де поєднання штучного інтелекту та сучасних криптографічних методів дозволяє забезпечити високий рівень захисту даних. Розглянуто також роль кіберфізичних систем, автономного транспорту та телемедицини як ключових напрямів застосування бездротових технологій. Доведено, що квантові технології, зокрема квантова криптографія та квантові алгоритми оптимізації, відкривають нові можливості для підвищення безпеки та ефективності мереж наступного покоління. Отже, інтеграція зазначених технологій формує нову парадигму розвитку бездротових комунікаційних систем, орієнтовану на високу продуктивність, енергоефективність, масштабованість та безпеку.

Ключові слова: бездротова мережа, штучний інтелект, машинне навчання, вбудована система, Інтернет речей, хмарні обчислення, великі дані, кібербезпека, квантові обчислення, когнітивна радіомережа.

Abstract

The current stage of development of telecommunication systems is characterized by a rapid transition to the concept of intelligent sixth-generation (6G) wireless networks, which provide a significant increase in data transmission speed, latency minimization, and support for massive device connectivity. The paper considers the integration of advanced technologies, including artificial intelligence, machine learning, embedded systems, the Internet of Things, quantum computing, as well as cloud and edge computing, as the foundation for the development of next-generation intelligent telecommunication systems. It is shown that the application of machine learning methods ensures efficient optimization of network resources, traffic prediction, automation of management processes, and improvement of quality of service. Embedded and edge computing systems enable real-time data processing, reducing latency and improving network energy efficiency. It is established that the use of cognitive radio networks and artificial intelligence algorithms contributes to more efficient radio spectrum management. The integration of signal processing, big data technologies, and IoT enhances the performance, reliability, and scalability of wireless systems. Special attention is given to cybersecurity issues, where the combination of artificial intelligence and modern cryptographic methods enables a high level of data protection. The role of cyber-physical systems, autonomous transport, and telemedicine as key application areas of wireless technologies is also considered. It is demonstrated that quantum technologies, in particular quantum cryptography and quantum optimization algorithms, open new opportunities for improving the security and efficiency of next-generation networks. Thus, the integration of the aforementioned technologies forms a new paradigm for the development of wireless communication systems focused on high performance, energy efficiency, scalability, and security.

Keywords: wireless network, artificial intelligence, machine learning, embedded systems, Internet of Things, cloud computing, big data, cybersecurity, quantum computing, cognitive radio network.

Вступ

Сучасний етап розвитку телекомунікацій характеризується стрімким переходом до концепції інтелектуальних мереж шостого покоління (6G), які мають забезпечити якісно новий рівень швидкості передавання даних, мінімальні затримки та масове підключення пристроїв. У цьому контексті ключового значення набуває інтеграція передових технологій, зокрема машинного навчання та вбудованих систем, що формують основу інтелектуалізації бездротових мереж [1].

Розвиток 6G супроводжується переходом від традиційних мереж до самокерованих, адаптивних і когнітивних систем, здатних до автономного прийняття рішень у реальному часі. Методи машинного навчання забезпечують ефективний аналіз великих обсягів даних, прогнозування мережових навантажень, оптимізацію ресурсів і підвищення якості обслуговування. Водночас вбудовані системи реалізують ці інтелектуальні функції безпосередньо на рівні мережевої інфраструктури, забезпечуючи обробку даних на периферії мережі та зменшення затримок.

Особливої актуальності набувають задачі ефективного управління радіочастотним спектром, де використання когнітивних радіомереж і алгоритмів штучного інтелекту дозволяє підвищити ефективність використання обмежених ресурсів. Крім того, інтеграція AI/ML у бездротові системи сприяє розвитку самовідновлюваних мереж, інтелектуального управління трафіком, оптимізації антенних систем та забезпеченню необхідного рівня якості обслуговування [2].

Таким чином, поєднання технологій 6G, машинного навчання та вбудованих систем формує нову парадигму побудови телекомунікаційних мереж, орієнтовану на високу ефективність, адаптивність і масштабованість, що визначає актуальність даного дослідження.

Метою роботи є аналіз та узагальнення підходів до інтеграції технологій 6G, машинного навчання та вбудованих систем з метою підвищення ефективності функціонування інтелектуальних бездротових мереж.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати концептуальні засади побудови інтелектуальних мереж 6G; дослідити методи управління та розподілу радіочастотного спектра з використанням штучного інтелекту; визначити основні напрями застосування машинного навчання в телекомунікаційних системах; розглянути роль вбудованих систем у реалізації інтелектуальних функцій бездротових мереж; оцінити вплив інтеграції зазначених технологій на продуктивність, енергоефективність і якість обслуговування мереж.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого розвитку інтелектуальних бездротових систем нового покоління та впровадження інноваційних телекомунікаційних рішень.

Результати дослідження

У роботі розглянуто сучасні підходи до побудови інтелектуальних бездротових систем на основі технологій глибинного навчання, обробки природної мови, вбудованих систем, великих даних, хмарних і периферійних обчислень, а також квантових технологій. Показано, що інтеграція зазначених напрямів забезпечує підвищення ефективності, продуктивності, безпеки та адаптивності телекомунікаційних мереж наступних поколінь [3].

Одним із ключових напрямів розвитку штучного інтелекту є глибинне навчання, яке демонструє високу ефективність у бездротових комунікаціях та обробці природної мови (NLP). Методи глибинного навчання забезпечують автоматичне розпізнавання та класифікацію сигналів, адаптацію до змінних умов каналу та підвищення надійності передачі даних. Використання нейронних мереж дозволяє покращити процеси кодування, модуляції та корекції помилок, зменшуючи рівень бітових похибок [4].

Технології NLP застосовуються для інтелектуального управління мережами, автоматизації діагностики та обробки запитів користувачів. Інтелектуальні чат-боти забезпечують автоматизоване обслуговування, класифікацію звернень і формування технічних заявок, що підвищує ефективність сервісних систем.

Вбудовані системи є основою сучасних бездротових пристроїв і IoT-рішень, забезпечуючи енергоефективність і обробку даних у реальному часі. Застосування низькопотужних мікроконтролерів, енергоефективних сенсорів і RF-модулів дозволяє зменшити енергоспоживання. Використання DVFS забезпечує динамічне регулювання продуктивності залежно від навантаження [1].

Edge computing дозволяє виконувати локальну обробку даних, зменшуючи затримки та навантаження на мережу, а також підвищуючи рівень конфіденційності за рахунок мінімізації передачі чутливих даних.

Сучасні методи обробки сигналів, зокрема MIMO та beamforming, суттєво підвищують ефективність бездротових систем. Використання просторово-часових методів дозволяє підвищити завадостійкість і пропускну здатність каналів. Алгоритми стиснення (JPEG, H.264, HEVC) забезпечують ефективну передачу мультимедійних даних у реальному часі [2].

Адаптивні методи придушення шумів, компенсації ехо та спектрального аналізу покращують якість сигналу в умовах завад і згасання. Технології Big Data забезпечують аналіз великих масивів мережевої інформації для оптимізації роботи телекомунікаційних систем.

Застосування аналітики дозволяє прогнозувати навантаження, оптимізувати ресурси, покращувати QoS та підвищувати ефективність планування мереж. У промисловому IoT великі дані використовуються для прогнозного обслуговування обладнання.

У сфері кібербезпеки аналіз поведінкових моделей дозволяє виявляти аномалії та мережеві атаки, включаючи DDoS. Поєднання cloud- та edge-технологій формує гібридну обчислювальну інфраструктуру. Edge забезпечує низькі затримки та локальну обробку, тоді як хмарні системи надають масштабовані ресурси для складних обчислень і зберігання даних.

Федеративне навчання дозволяє навчати моделі без централізованого збору даних, підвищуючи конфіденційність і зменшуючи навантаження на мережу.

Інтернет речей забезпечує масову інтеграцію сенсорів для збору та аналізу даних у реальному часі. Ключовими аспектами є енергоефективність, локалізація пристроїв та об'єднання даних (data fusion). Використання протоколів BLE, Zigbee та energy harvesting забезпечує автономність пристроїв. IoT активно застосовується в медицині, сільському господарстві та міських системах для моніторингу та оптимізації процесів. Smart city системи базуються на інтеграції бездротових технологій, IoT та аналітики даних [3].

Інтелектуальні транспортні системи використовують адаптивне керування рухом, прогнозу аналітику та динамічне тарифікування. Smart grids забезпечують ефективне керування енергетичними ресурсами. Системи екологічного моніторингу контролюють якість повітря, води та стан міської інфраструктури.

Забезпечення кібербезпеки базується на поєднанні штучного інтелекту та криптографії. AI-системи виявляють вторгнення, аналізують поведінку користувачів і автоматично ізолюють загрози. Використовуються методи наскрізного шифрування, zero-knowledge proofs та диференційної конфіденційності. Управління ключами (PKI, Diffie–Hellman, ECC) забезпечує захищений обмін та ротацію криптографічних ключів. Кіберфізичні системи інтегрують обчислення, фізичні процеси та комунікації. V2X-комунікації забезпечують взаємодію автономних транспортних засобів з іншими авто та інфраструктурою. У промисловості CPS підтримують smart manufacturing, підвищуючи продуктивність і знижуючи простой [4].

У медицині застосовуються системи дистанційного моніторингу та телемедицини з високим рівнем захисту даних. Квантові технології формують новий рівень безпеки та продуктивності бездротових мереж. Квантовий розподіл ключів (QKD) забезпечує абсолютну захищеність каналів зв'язку. Постквантова криптографія дозволяє протидіяти загрозам квантових обчислень. Квантові методи оптимізації (quantum annealing) і квантове машинне навчання прискорюють обробку даних та підвищують ефективність мереж [1, 2].

Інтеграція штучного інтелекту, вбудованих систем, IoT, великих даних, хмарних і квантових технологій формує нове покоління інтелектуальних бездротових мереж. Такі системи характеризуються високою продуктивністю, енергоефективністю, масштабованістю та підвищеним рівнем безпеки, що визначає їх ключову роль у розвитку телекомунікацій майбутнього [3, 4].

Висновки

У результаті проведеного комплексного аналізу сучасних тенденцій розвитку бездротових комунікаційних систем у контексті інтеграції технологій штучного інтелекту, машинного навчання, вбудованих систем, Інтернету речей та квантових обчислень отримано такі узагальнені висновки:

1. Доведено, що застосування методів штучного інтелекту та машинного навчання забезпе-

чує ефективну оптимізацію мережевих ресурсів, автоматизацію управління, підвищення якості обслуговування та реалізацію самовідновлюваних мереж.

2. Визначено, що вбудовані системи та периферійні (edge) обчислення є ключовими елементами інтелектуалізації бездротових мереж, оскільки забезпечують обробку даних у реальному часі, зменшення затримок і підвищення енергоефективності.

3. Обґрунтовано важливість ефективного управління радіочастотним спектром із використанням когнітивних радіомереж та алгоритмів штучного інтелекту, що дозволяє підвищити ефективність використання обмежених ресурсів.

4. Показано, що технології обробки сигналів, зображень і великих даних відіграють важливу роль у підвищенні продуктивності, надійності та адаптивності бездротових систем.

5. Встановлено, що Інтернет речей і сенсорні мережі забезпечують масштабний збір і обробку даних, формуючи основу функціонування інтелектуальних середовищ, зокрема «розумних» міст, промислових систем і медичних сервісів.

6. Доведено, що інтеграція бездротових технологій у транспортні системи та міську інфраструктуру сприяє підвищенню ефективності управління ресурсами, зменшенню транспортного навантаження та покращенню екологічних показників.

7. Встановлено, що впровадження квантових технологій відкриває нові можливості для підвищення рівня безпеки та оптимізації бездротових мереж, зокрема завдяки використанню квантової криптографії та квантових алгоритмів.

Отже, результати проведеного аналізу свідчать, що подальший розвиток бездротових комунікаційних систем буде визначатися інтеграцією інтелектуальних технологій, підвищенням енергоефективності, забезпеченням високого рівня безпеки та орієнтацією на сталий розвиток, що формує основу для створення мереж наступного покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Xu X, Chen H, Simsarian JE, Ryf R, Mazur M, Dallachiesa L, Fontaine NK, Neilson DT. Demonstration of voice user interface for intelligent network orchestration. In 2023 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC). 2023 Mar 5 (pp. 1–3). IEEE, Las Vegas, NV. <https://doi.org/10.1364/OFC.2023.M3Z.11>.

2. Yoshizawa T, Singelée D, Muehlberg JT, Delbruel S, Taherkordi A, Hughes D, Preneel B. A survey of security and privacy issues in v2x communication systems. ACM Computing Surveys. 2023 Jan 13; 55(9):1–36. <https://doi.org/10.1145/3558052>.

3. Васильківський М. В. Керування телекомунікаційними мережами з використанням технологій AI/ML [Текст] / М. В. Васильківський, О. Болдирева, Г. Варгатюк, М. Будаш // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2023. – Вип. 1. – С. 89–100.

4. Васильківський М. В. Коригування параметрів мобільних систем МІМО із використанням штучного інтелекту [Текст] / М. Васильківський, О. Болдирева, Г. Варгатюк, Н. Грабчак // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2023. – № 51. – С. 139–147.

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

Грабчак Назарій Віталійович — аспірант групи 172-23а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazariihrabchak@gmail.com

Гуменюк Артур Володимирович — студент групи ПЗТ-22б, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vovvolkad@gmail.com

Vasyilkivskyi 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

Hrabchak Nazarii V. — graduate student of group 172-23a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazariihrabchak@gmail.com

Humeniuk Artur V. - student of group TSS-22b, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vovvolkad@gmail.com