

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОСИСТЕМ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Досліджено технологію 6G, яка дозволить інтегрувати всі типи доступу в одному мобільному телефоні, забезпечуючи плавне перемикання між послугами. Розглянуто нові варіанти використання мобільних мереж, такі як зондування та штучний інтелект, що формують нові показники якості інформаційної послуги – роздільну здатність зондування та ймовірність виведення. Для нових застосувань розглянуто перспективи подальших досліджень пов'язаних з ними показників, наприклад, гнучкості та масштабованості для підтримки власних сервісів штучного інтелекту та рівня надійності мережі.*

**Ключові слова:** технологія 6G, штучний інтелект, безпілотний літальний апарат, ключовий показник ефективності, безпроводна мережа

### *Abstract*

*6G technology has been studied, which will allow integration of all types of access in one mobile phone, ensuring smooth switching between services. New options for the use of mobile networks, such as sensing and artificial intelligence, are considered, which form new indicators of the quality of the information service - the resolution of sensing and the probability of output. For new applications, the prospects for further research into related indicators, such as flexibility and scalability to support own artificial intelligence services and network reliability level, are considered.*

**Keywords:** 6G technology, artificial intelligence, drone, key performance indicator, wireless network.

### Вступ

Бездротові мережі швидко розвиваються за сценарієм, згідно з яким інфраструктура зв'язку зливатиметься з навколишнім середовищем. Якщо мережі 5G розвиваються у напрямку щільного розгортання базових станцій та антенних решіток, то технологія 6G перейде на наступний рівень, оснастивши об'єкти в галузі зв'язку, такі як будівлі, стіни, автомобілі та дорожні знаки, інтелектуальними поверхнями, здатними підсилювати електромагнітні сигнали, виконувати обчислення та зберігати дані.

Проектування бездротових мереж на основі показників енергоефективності є надзвичайно складним завданням, оскільки традиційні схеми розподілу потужності призводять до безперервної передачі з використанням максимальної доступної потужності. Однак останнім часом ця думка почала змінюватися, оскільки ключовим показником ефективності для мереж 5G стала енергоефективність у бітах на джоуль, яка визначається як кількість інформації, яка може бути надійно передана на один джоуль споживаної енергії [1]. В роботі [2] обговорюються систематичні підходи до вирішення завдань максимізації енергоефективності. Відповідно до цих підходів структура з [1] використовується в [2] для розробки енергоефективних алгоритмів керування потужністю для масивних систем МІМО та для енергоефективних мереж з малими стільниками.

Метою роботи є дослідження сегментів інфокомунікаційних мереж на основі технологій 6G з використанням штучного інтелекту для підвищення ефективності роботи апаратно-програмного телекомунікаційного обладнання.

### Результати дослідження

Надання користувачам доступу до інтернет-послуг у будь-який час через один і той же пристрій незалежно від їхнього місцезнаходження є однією з кінцевих цілей створення ефективних бездротових мереж. Зручною платформою для переміщення з повітряною мобільністю різних датчиків і камер високої роздільної здатності, незалежно від галузі промисловості є безпілотні літальні апарати. З цієї

причини безпілотні літальні апарати відіграватимуть важливу роль при підвищенні сенсорних можливостей мережі 6G. БПЛА необов'язково повинні обмежуватися роллю кінцевого пристрою, оскільки вони можуть застосовуватися як ретранслятор або точка доступу для формування тимчасової мережі та розширення зони дії мобільного зв'язку, особливо у виняткових сценаріях (наприклад, при аваріях у горах або стихійних лих). Іншими словами, гнучкість та маневреність БПЛА можуть зробити їх гарною альтернативою у критичних ситуаціях за відсутності фіксованої інфраструктури.

БПЛА бувають різних розмірів і вантажопідйомності та можуть використовуватися в різноманітних сферах бізнесу. Наприклад, як показано на рис. 1, у них можуть бути комерційні та промислові застосування, такі як автоматична безпілотна інспекція, екстрене реагування для розумного та безпечного міста, моніторинг навколишнього середовища та інтелектуальна логістика.



Рис. 1. Особливості застосування БПЛА

Однак, обмежена ємність акумулятора не дозволяє безпілотним літальним апаратам працювати протягом тривалих періодів часу. Отже, «зелений зв'язок» безперечно стане в нагоді для організації енергозберігаючого зв'язку з БПЛА.

Тому, до енергоефективності мереж 6G будуть пред'являтися дуже суворі вимоги. Отже, надзвичайно важливо вивчити вартість обчислень у нейромережах з погляду енергоспоживання. Крім того, необхідно вивчити енергетичний аспект у зв'язку з вимогами до затримки обробки для технологій 6G, які також дуже суворі та потребують швидких (та енергоємних) обчислень. Розуміння фундаментальних енергетичних обмежень обчислень, пов'язаних з обробкою інформації, є важливим кроком на шляху успішного розгортання бездротових мереж 6G.

Термодинаміка при поєднанні до комунікацій та теорії обчислень здатна допомогти у розробці нових алгоритмів для енергоефективних мереж 6G.

У майбутньому штучний інтелект (ШІ) зазнає неймовірної еволюції і проникне у всі верстви суспільства. Під час цього процесу ШІ та зв'язок зближуватимуться, при цьому або мережа зв'язку обслуговуватиме та забезпечуватиме конвеєри даних для додатків ШІ, або ШІ підвищить ефективність передачі даних у мережі зв'язку. Проте споживання електроенергії та викиди вуглецю внаслідок використання штучним інтелектом великих обчислювальних ресурсів є дуже неприємним чинником як з погляду захисту довкілля, так і з погляду економічних чинників. З цієї причини зелений ШІ привертає дедалі більшу увагу у науковому та інженерному співтовариствах [1, 2], а перехід від червоного ШІ до зеленого суттєво вплине на принципи проектування мереж бездротового зв'язку наступного покоління.

Червоний ШІ використовує модель, яка навчається за допомогою навчального набору даних та оцінюється за допомогою тестового набору даних. Щоб розробити червону модель ШІ, нам зазвичай потрібно використовувати набір навчальних даних для ітеративного коригування гіперпараметрів. Відповідно, зелений ШІ відноситься до рішення, в якому моделі, алгоритми та обладнання дають нові результати без збільшення обчислювальних витрат та фактично знижують їх в ідеальних сценаріях [2].

Як правило, собівартість обчислень моделі ШІ пропорційна добутку трьох ключових факторів: вартості виконання моделі на одній вибірці, розміру навчального набору даних та кількості експериментів з гіперпараметрами. Оцінювання споживання енергії штучним інтелектом ( $p_i$ ) та викидів  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_{2e}$ ) можна здійснити за виразами (1) та (2) [2]:

$$p_t = \frac{PUE \times t \times (p_c + p_r + gp_g)}{1000} \text{ (кВт*г)}, \quad (1)$$

$$CO_{2e} = CUP \times p_t \text{ (кг)}, \quad (2)$$

де  $t$  – очікуваний загальний час, витрачений на навчання моделі;

$p_c$ ,  $p_r$  та  $p_g$  являють собою середнє енергоспоживання (у ватах) від усіх сокетів ЦП, від усіх сокетів DRAM (основної пам'яті) та кожного графічного процесора відповідно під час навчання;

$g$  – кількість графічних процесорів, що використовуються для прискорення навчання.

PUE – це скорочення від power usage effectiveness, що означає ефективність використання енергії з урахуванням додаткової енергії, необхідної для підтримки обчислювальної інфраструктури (насамперед охолодження). Середній світовий показник PUE центрів обробки даних становить 1,58 [2]. CUP – це скорочення від carbon dioxide per unit power (кількість вуглекислого газу на одиницю потужності), яке залежить від рівня розвитку місцевої енергетики.

### Висновки

Досліджено, що при проектуванні бездротових комунікаційних мереж наступного покоління традиційні алгоритми оптимізації ШІ (такі як федеративне навчання) зазвичай розглядають пропускну здатність або затримку бездротових з'єднань як вагу для розподіленого мультипроцесорного обміну даними, без урахування граничних значень енергії потужності між різними пристроями у різних регіонах. Цей неоднозначний розгляд обмежень енергії ШІ або витрат на електроенергію може призвести до великого розходження між проектом бездротової мережі та фактичним розгортанням ШІ в майбутньому. З цієї причини необхідно надавати однакове значення зеленому ШІ та зеленим комунікаціям. Тому, з самого початку проектування архітектури системи необхідно в повній мірі враховувати вплив моделей, алгоритмів та обладнання штучного інтелекту на енергоспоживання, щоб забезпечити економічну вигоду клієнтам з відповідними операційними витратами системи.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. D. Hernandez and T. B. Brown, Measuring the algorithmic efficiency of neural networks, arXiv preprint arXiv:2005.04305, 2020.

2. A. Pizzo, T. L. Marzetta, and L. Sanguinetti, Degrees of freedom of holographic MIMO channels, in Proc. 2020 IEEE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC). IEEE, 2020, pp. 1–5.

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

**Грабчак Назарій Віталійович** — студент групи ТКС-21м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazarii.hrabchak@gmail.com

**Климчук Богдан Сергійович** — студент групи ТКС-21м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [turtleparachutist@gmail.com](mailto:turtleparachutist@gmail.com)

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

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

**Nazarii Vitaliyovych Hrabchak** — student of TKS-21m group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazarii.hrabchak@gmail.com

**Bohdan Serhiyovych Klimchuk** — student of TKS-21m group, faculty of information electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: turtleparachutist@gmail.com

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