

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В МЕРЕЖАХ РАДІОДОСТУПУ 5G**

***Рожновський М. В.***

*кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри радіоелектронних систем і технологій  
Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку  
м. Одеса, Україна*

***Тараненко А. П.***

*здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня  
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки  
Міжнародний гуманітарний університет  
Науковий керівник: **Рожновська І. Ю.**  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних наук  
Міжнародний гуманітарний університет  
м. Одеса, Україна*

Безпроводовий зв'язок за час свого існування еволюціонував від стандартів першого покоління (1G) до впровадження стандартів п'ятого покоління (5G) та розробки стандартів шостого покоління (6G) [1, 2]. Сучасна мережа безпроводового зв'язку 5G включає в свій склад інфраструктуру мобільної мережі зв'язку 4G та ряд нових технологій, таких як надщільні мережі радіодоступу 5G, технологія Device-to-Device (D2D), технологія Machine-to-Machine (M2M), технологія Internet of Things (IoT), технологія Internet of Vehicles (IoV), технологія Multi-hop (Mesh-мережа) [1] та ін.

В мережах радіодоступу 5G та 6G основним типом антенних систем є MIMO (Multiple Input Multiple Output) антени [1–3]. Технологія MIMO використовується для підвищення ефективності передачі даних в стільниках мереж 5G та 6G. Основна ідея технології MIMO полягає у використанні антенних решіток, які формують багатопелюсткову діаграму спрямованості та мають забезпечувати керування пелюстками в режимі реального часу з метою покращення надійності безпроводового зв'язку та підвищення пропускної здатності MIMO радіолінії [1–3].

Отже, із сказаного вище, можна зробити висновок, що при дослідженні антенних систем в мережах 5G однією з актуальних задач є аналіз можливості керування в режимі реального часу виділеною окремою

пелюсткою діаграми спрямованості для конкретного абонентського терміналу, що перебуває в русі.

Таким чином, метою даної роботи є запропонувати метод, який забезпечить створення деякої «системи знань», яку потенційно можна використати для керування виділеною пелюсткою діаграми спрямованості антенної решітки в режимі реального часу.

Вказану задачу можна вирішити, застосувавши методи машинного навчання. Один з методів машинного навчання, який можна запропонувати для досягнення поставленої в роботі мети – це метод «інтелектуальний агент» [4–6].

Під терміном «інтелектуальні агенти» розуміють сутність, що здатна спостерігати за навколишнім середовищем і діяти у ньому [4–6]. До інтелектуальних агентів застосовують алгоритми навчання в результаті чого їх поведінка стає раціональною, а їхні дії завжди спрямовані на досягнення якої-небудь мети. В результаті навчання інтелектуальні агенти можуть: здійснювати генерацію відповіді за відсутності готового рішення; виконувати пізнавальне виділення об'єктивних умов, суттєвих для дії; здійснювати узагальнене, опосередковане відображення дійсності; відшукувати і відкривати суттєво нове; виявляти і досягати проміжних цілей [6].

Процес навчання можна реалізувати застосувавши алгоритм Q-навчання інтелектуальних агентів [4–6]. Розглянемо процес стимулюючого навчання з підкріпленням. Під час цього навчання інтелектуальний агент, діючи в певному середовищі, аналізує обставини цього середовища, «вивчає» його та отримує за свої дії певну «винагороду» у вигляді накопичених балів [4–6]. Кінцевою метою інтелектуального агента є з'ясування закономірностей та вироблення моделі поведінки, яка дозволяє оптимально діяти в заданому середовищі. Основою Q-навчання є так звана функція корисності – Q-функція, що записується в наступному вигляді [5]

$$Q(s, a) = (1 - \alpha)Q(s, a) + \alpha \left[ R(s, a) + \lambda \frac{\max_{a' \in A} Q(s', a') \right], \quad (1)$$

де

$s$  – елемент множини станів  $S(s_1, s_2, \dots, s_n)$ , в яких може перебувати агент,

$a$  – елемент множини дій агента  $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ,

$\alpha$  – швидкість навчання агента від 0 до 1 (рекомендоване значення 0,8 [7]),

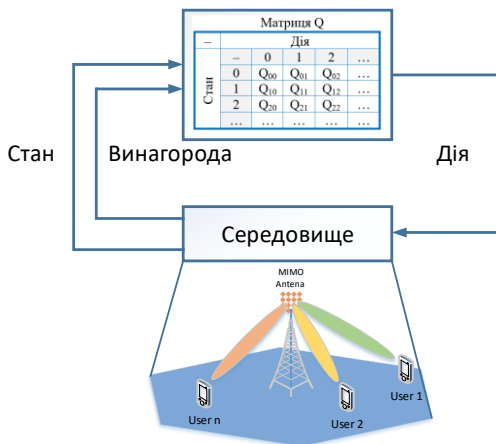
$s'$  – елемент наступного стану з множини станів  $S(s_1, s_2, \dots, s_n)$ , в яких може перебувати агент,

$a'$  – елемент можливих дій агента  $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$  при заданому стані  $s'$ ,

$\lambda$  – коефіцієнт дисконтування, який можна встановити в діапазоні від 0 до 1,

$R(s, a)$  – матриця винагород за перехід між станами,

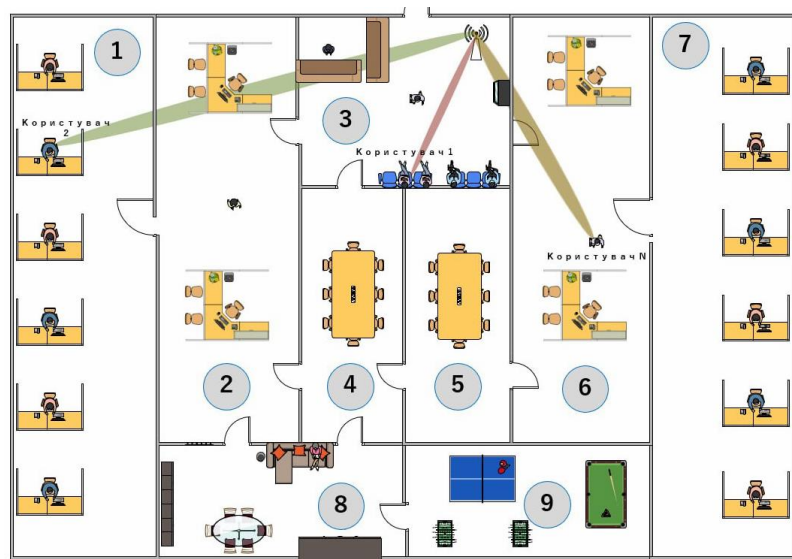
$\max_{a' \in A} Q(s', a')$  – наступна дія з максимальною винагородою.



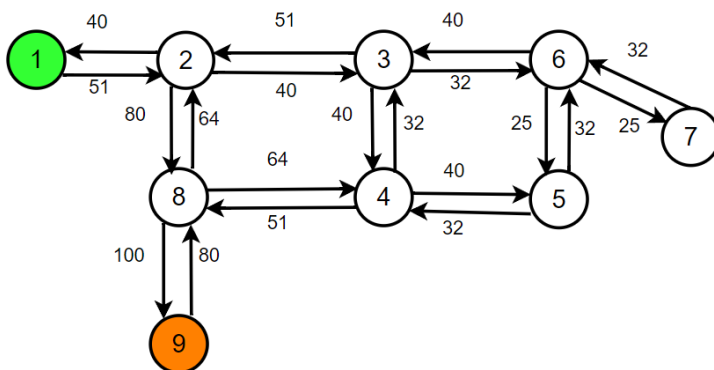
Процес навчання інтелектуального агента можна відобразити графічно за допомогою діаграми Q-навчання рис. 1 [2]. На рис. 1 показано, що інтелектуальний агент діє в середовищі стільника мобільного зв'язку, що дає змогу сформуванню деяку «систему знань», яка відображає закономірності переміщення абонентів в межах зони стільника. Отримана «система знань» потенційно може бути використана для керування діаграмою спрямованості антенної решітки, що діє в даному стільнику.

Продемонструємо застосування методу інтелектуального агента на прикладі однієї комірки надшільної мережі радіо-доступу [1], що діє на поверсі офісного приміщення (рис. 2).

Застосувавши математичну модель дії інтелектуального агента (1) в межах зони радіопокриття на поверсі офісного приміщення, отримаємо «систему знань» у вигляді зваженого графу (рис. 3). Отримана «система знань» на рис. 3 потенційно може бути використана для керування діаграмою спрямованості антенної решітки, що діє в межах зони радіопокриття на поверсі офісного приміщення.



**Рис. 2. План поверху офісного приміщення**



**Рис. 3. Граф можливих станів та дій інтелектуального агенту при подоланні шляху з вершини 1 в вершину 9**

Таким чином, в даній роботі запропоновано використання методу машинного навчання «інтелектуальний агент» при керуванні діаграмою спрямованості антенної системи МІМО, а саме розглянуто одну комірку надщільної мережі радіодоступу 5G як середовище застосування

«інтелектуального агенту». Показано, що застосувавши метод «інтелектуальний агент», можна створити систему знань, яка може «зрозуміти» та «навчитись» враховувати закономірності руху абонентських терміналів в межах стільника, а також може «передбачити» напрям руху конкретного абонентського терміналу. Отримана система знань потенційно дозволяє реалізувати функції розумної антени та забезпечити керування виділеною пелюсткою діаграми спрямованості антенної системи в режимі реального часу.

### Література:

1. A. Mamta, R. Abhishek, S. Navrati, «Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey,» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, № 3, pp. 1617–1655, 2016.
2. Wen Tong, Peiying Zhu, «6G: The Next Horizon: From Connected People and Things to Connected Intelligence,» Cambridge University Press, Includes index. ISBN: 1108839320, 2021. 490 p.
3. Nathan Blaunstein, Christos G. Christodoulou «Radio propagation and adaptive antennas for wireless communication links,» USA.: Includes index. ISBN-13: 978-0-471-25121-7, ISBN-10: 0-471-25121-6, TK7871.67. A33.B55 2007. 614 p.
4. Gerhard Weiss, «Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence,» The MIT Press.: Includes index. ISBN 9780262731317, 2000. 644 pp.
5. Rozhnovskiy M.V., Rozhnovskaya I. Yu. «Application of machine learning method in massive MIMO antenna technologies» *Advanced Technology in Information and Communication Engineering: International Conference*, July, 18, 2023.: proc. of conf. Odesa, Ukraine, pp. 98–101, 2023.
6. Троцько В.В. Методи штучного інтелекту: Навчально-методичний посібник. – Київ: Університет економіки та права «КРОК», 2020. 86 с.