

МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерних наук

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
другого (магістерського) рівня

на тему Дослідження застосування штучного інтелекту для підвищення
ефективності телекомунікаційних систем

Виконав: студент 2 курсу, групи ІКК-2.1
спеціальності
122 Комп'ютерні науки

_____ Сологуб О.С. _____

Керівник Рожновська І.Ю. _____

Рецензент Вакарчук А.О. _____

ДОВІДКА

кафедри КН про виконану магістерську роботу
студента 2 курсу ФКПІ та КН групи ІКК-2.1

Сологуба Олександра Сергійовича

на тему Дослідження застосування штучного інтелекту для підвищення ефективності телекомунікаційних систем

Висновок нормоконтролера наск. замисок до кваліфікаційної роботи виконано з незначними порушеннями ДСТУ. Прорішено зупинити випуск роботи
Нормоконтролер в.к. каф. ІТІ 15.11.2023 Кеїлісевич І.І.
(науковий ступінь, вчене звання, посада) (підпис, дата) (і. б. прізвище)

Висновок відповідального за наявність плагіату згідно з сервісним ID 101570.1009 унікальністю роботи підтверджено.

Відповідальна особа в.к. каф. ІТІ 15.11.2023 Кеїлісевич І.І.
(науковий ступінь, вчене звання, посада) (підпис, дата) (і. б. прізвище)

Попередня експертиза (захист) магістерської роботи
(бакалаврської роботи чи магістерської роботи)

студ. Сологуба О.С. проведена "15" 12 2023 р.
(прізвище і.б.)

Висновки Кваліфікаційна робота виконана у повному обсязі. В роботі проведено дослідження застосування штучного інтелекту для підвищення ефективності телекомунікаційних систем. Кваліфікаційна робота відповідає вимогам до випускних кваліфікаційних робіт зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки та рекомендована до захисту.

Члени комісії

(підпис)

к.т.н. доц. Соловська Т.М.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище і.б.)

(підпис)

к.т.н. доц. Руець О.П.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище і.б.)

(підпис)

к.т.н. доц. Розенбаєв А.М.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище і.б.)

МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерних наук
Освітній ступінь магістр
Галузь знань 12 Інформаційні технології
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КН

к.т.н., доц.

І.М.Соловська

"25" 09 2023 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Сологубу Олександрю Сергійовичу

- Тема роботи: Дослідження застосування штучного інтелекту для підвищення ефективності телекомунікаційних систем
керівник роботи к.т.н., доцент Рожновська І.Ю.
затверджені наказом закладу вищої освіти від 25 вересня 2023 р. № 1959
- Строк подання студентом роботи 11.12.2023 р.
- Вихідні дані до роботи:
 - План поверху офісного приміщення
 - Граф, що відповідає плану поверху
 - Математична модель
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки
Розділ 1: Аналіз застосування систем та методів штучного інтелекту
Розділ 2: Аналіз можливості застосування методів штучного інтелекту для розвитку телекомунікацій
Розділ 3: Застосування методів штучного інтелекту у концепції «Розумна антена»
Розділ 4: Використання методів машинного навчання у сфері технологій масивних МІМО-антен
Розділ 5: Реалізація методу інтелектуальний агент
- Перелік графічного матеріалу (з зазначенням обов'язкових креслень)
Слайд 1 – Активний розвиток технологій мереж зв'язку

Слайд 2 – Актуальність теми

Слайд 3 – Застосування алгоритму Q-навчання інтелектуального агенту

Слайд 4 – Застосування інтелектуального агента в комірці надщільної мережі

Слайд 5 – Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 25.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	26.09 – 28.09	<i>вск</i>
2	Аналіз застосування систем та методів штучного інтелекту	29.09 – 03.10	<i>вск</i>
3	Аналіз можливості застосування методів штучного інтелекту для розвитку телекомунікацій	04.10 – 18.10	<i>вск</i>
4	Використання методів машинного навчання у сфері технологій масивних МІМО-антен	19.10 – 30.10	<i>вск</i>
5	Реалізація методу інтелектуальний агент	01.11 – 20.11	<i>вск</i>
6	Висновки та рекомендації	21.11 – 27.11	<i>вск</i>
7	Перелік посилань	27.11 – 28.11	<i>вск</i>
8	Додаток А. Перелік демонстраційного матеріалів	29.11 – 10.12	<i>вск</i>

Студент

СШ
(підпис)

О.С. Сологуб

Керівник роботи

ІЮ
(підпис)

І.Ю. Рожновська

ВІДГУК КЕРІВНИКА

магістерської роботи здобувача Сологуб О.С.

на тему: «Застосування штучного інтелекту для підвищення ефективності телекомунікаційних систем»

Сучасні системи безпроводової передачі даних впевнено увійшли в наше сьогодення. Важко уявити сучасні торгово-розважальні центри, бібліотеки, конференц-зали, освітні заклади, офісні та житлові приміщення без комунікаційних мереж. Світова тенденція розвитку телекомунікацій пов'язана з інтенсивною інтеграцією систем і методів штучного інтелекту в інфраструктуру мереж зв'язку, що в решті решт приведе до появи нових інтелектуальних сервісів та послуг.

Таким чином, тема магістерської роботи здобувача Сологуб О.С. є актуальною.

У магістерській роботі здобувач Сологуб О.С. детально проаналізував сучасні тенденції застосування штучного інтелекту в телекомунікаціях, зокрема приділив достатньо багато уваги питанням застосування методів штучного інтелекту в антенній техніці. В своїй роботі здобувач досліджував можливість реалізації концепції «розумна антена». Запропонував та дослідив можливість застосувати метод штучного інтелекту «Інтелектуальний агент» для формування деякої «системи знань» в межах однієї комірки стільникового зв'язку. Отриману «систему знань» потенційно можна використовувати для інтелектуального керування характеристиками випромінювання антени базової станції стільника.

Здобувач Сологуб О.С. на високому рівні розібралася з усіма проблемами, що розглядалися в роботі. Робота проводилась в значній мірі самостійно, без порушень термінів виконання та графіку консультацій. Робота виконана в повному обсязі відповідно до завдання.

Магістерська робота відповідає вимогам, що висуваються до випускних кваліфікаційних робіт магістра та заслуговує оцінки «відмінно», а студент Сологуб О.С. — присвоєння кваліфікації магістр за заявленою спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Керівник
доц. каф. КН, к.т.н.



І.Ю. Рожновська

РЕЦЕНЗІЯ

на магістерську роботу здобувача Сологуб О.С.
на тему: «Застосування штучного інтелекту для підвищення ефективності телекомунікаційних систем»

Розвиток сучасних телекомунікаційних мереж відзначається своєю універсальністю, реалізуючи всеосяжне покриття радіомережами усієї планети. Ключовою особливістю є активне застосування методів та систем штучного інтелекту у телекомунікаційній інфраструктурі. У мережах 6G важливою є проблема впровадження концепції «розумної антени» (Smart Antenna).

Актуальність теми магістерської роботи Сологуб О.С. полягає в аналітичному дослідженні можливості застосовувати методи штучного інтелекту в антенних системах сучасних радіомереж.

У магістерській роботі здобувача Сологуб О.С. запропоновано використовувати методи штучного інтелекту в радіомережах для реалізації ідеї «розумної антени». Аргументується можливість застосування методу штучного інтелекту, зокрема «інтелектуальних агентів», для створення спеціальної «системи знань». Ця система може бути основою для інтелектуального управління діаграмою спрямованості антени у межах радіопокриття окремої комірки системи зв'язку.

Робота виконана згідно до завдання, текст її послідовний та лаконічний, оформлення якісне, але разом з тим по роботі слід відмітити такі недоліки:

1. У роботі доцільно було б провести дослідження різних маршрутів різних початкових та кінцевих точок.
2. У роботі доцільно було б провести порівняльний аналіз існуючих типів штучного інтелекту та їх застосування .
3. В першому розділі роботи проаналізовано не всі типи мереж зв'язку та вплив штучного інтелекту на них.

Вказані зауваження не знижують якість виконаної роботи, тому вважаю, що магістерська робота здобувача Сологуб О.С. заслуговує оцінки «відмінно», а її автор — присвоєння кваліфікації магістр за заявленою спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Рецензент

к.т.н., доц. каф.

комп'ютерної інженерії та

інноваційних технологій



А.О. Вакарчук

Ім'я користувача:
Анна Серединко

Дата перевірки:
17.12.2023 19:14:58 MSK

Дата звіту:
17.12.2023 19:15:17 MSK

ID перевірки:
1016014347

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100001433

Назва документа: Пояснювальна_Записка_Сологуб

Кількість сторінок: 83 Кількість слів: 14249 Кількість символів: 109131 Розмір файлу: 6.14 MB ID файлу: 1015701009

20.2% Схожість

Найбільша схожість: 8.83% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015701008)

17.4% Джерела з Інтернету

914

Сторінка 85

9.26% Джерела з Бібліотеки

38

Сторінка 93

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

2

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської роботи: 78 с., 38 рисунків, 4 таблиць, 1 додаток, 30 джерела.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ОПТИМІЗАЦІЯ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, АНАЛІЗ ДАНИХ, МІМО АНТЕНИ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АГЕНТ.

Об'єкт дослідження телекомунікаційні системи і можливості застосування штучного інтелекту в цій області.

Мета роботи – полягає у вивченні, аналізі та дослідженні можливостей застосування штучного інтелекту для підвищення ефективності телекомунікаційних систем.

Метод дослідження – включає в себе аналіз наукової літератури, вивчення теоретичних аспектів штучного інтелекту, а також проведення аналітичних досліджень з використанням алгоритмів ШІ для оптимізації роботи телекомунікаційних мереж.

Актуальність цієї теми обумовлена постійним розвитком телекомунікаційних технологій, що призводить до збільшення обсягів даних, складності мереж та потреби в ефективному управлінні та підтримці цих систем.

У магістерській роботі було розглянуто існуючі класифікації антен та систем МІМО. Розглянуто можливості застосування інтелектуального агента для антен МІМО в надщільній комірці. З допомогою прикладу продемонстровано навчання інтелектуального агента та принцип його роботи, наближений до реального в надщільній комірці, в даному випадку в офісному приміщенні. Отримано результати використання та зроблено висновки.

ABSTRACT

The text part of the master's thesis: 78 p., 38 figures, 4 tables, 2 appendices, 30 sources.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE, TELECOMMUNICATION SYSTEMS, OPTIMIZATION, MACHINE LEARNING, DATA ANALYSIS, NEAR FIELD COMMUNICATION, INTELLIGENT AGENT.

The object of research is telecommunication systems and the possibilities of applying artificial intelligence in this area.

Purpose - to study, analyze and investigate the possibilities of using artificial intelligence to improve the efficiency of telecommunications systems.

Research method - includes analysis of scientific literature, study of theoretical aspects of artificial intelligence, as well as analytical research using AI algorithms to optimize the operation of telecommunication networks.

The relevance of this topic is due to the constant development of telecommunications technologies, which leads to an increase in data volumes, network complexity, and the need for effective management and support of these systems.

In the master's thesis, the existing classifications of antennas and MIMO systems were considered. The possibilities of using an intelligent agent for MIMO antennas in a superdense cell are considered. The training of an intelligent agent and the principle of its operation, close to the real one in a superdense cell, in this case in an office building, are demonstrated using an example. The results of the application are presented and conclusions are drawn.

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	12
ВСТУП	13
1 АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ТА МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	15
1.1 Аналіз поточного стану розвитку штучного інтелекту	15
1.2 Актуальність застосування штучного інтелекту в телекомунікаціях	21
1.3 Висновки до розділу	23
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ	24
1 Впровадження штучного інтелекту в сучасних телекомунікаційних системах	24
1.1 Аналіз застосування методу інтелектуальний агент	29
1.2 Висновки до розділу	37
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНА АНТЕНА»	39
1 Концепція «Розумна антена»	39
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У СФЕРІ ТЕХНОЛОГІЙ МАСИВНИХ МІМО-АНТЕН	63
1 Опис та огляд технології масивних МІМО-антен	63
Модернізація застарілих систем за допомогою методів штучного інтелекту	16
Штучний інтелект і машинне навчання для автоматизованого моніторингу мережах 5G та 6G	71
РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АГЕНТ	71
ВІСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	77
СПИСОК ПОСИЛАНЬ ТА ЛІТЕРАТУРИ	79

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- 4G – Fourth generation – Четверте покоління мобільного зв'язку
- 5G – Fifth generation – П'яте покоління мобільного зв'язку
- 6G – Sixth generation – Шосте покоління мобільного зв'язку
- AI – Artificial Intelligence– Штучний інтелект
- CRM – Customer Relationship Management – Управління відносинами з клієнтами
- CSP – Cloud Solution Provider– Постачальник хмарних рішень
- DL – Deep Learning – Глибоке навчання
- IoT – Internet of Things– Інтернет речей
- KPI – Key performance indicators– Ключові показники ефективності
- ML – Machine Learning– Машинне навчання
- NFV – Network Function Virtualization– Віртуалізація мережевих функцій
- PoC – Proof of Concept – Доказ концепції
- RAN – Radio Access Network– мережа радіодоступу
- SDN – Software-Defined Networking
- SD-WAN – Software-defined wide area network– Програмно-визначувана глобальна мережа
- SVM – Support Vector Machine– Опорна векторна машина
- МН – Машинне Навчання
- ШІ – Штучний Інтелект

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

4G – Fourth generation – Четверте покоління мобільного зв'язку

5G – Fifth generation – П'яте покоління мобільного зв'язку

6G – Sixth generation – Шосте покоління мобільного зв'язку

AI – Artificial Intelligence– Штучний інтелект

CRM – Customer Relationship Management – Управління відносинами з клієнтами

CSP – Cloud Solution Provider– Постачальник хмарних рішень

DL – Deep Learning – Глибоке навчання

IoT – Internet of Things– Інтернет речей

KPI – Key performance indicators– Ключові показники ефективності

ML – Machine Learning– Машинне навчання

NFV – Network Function Virtualization– Віртуалізація мережевих функцій

PoC – Proof of Concept – Доказ концепції

RAN – Radio Access Network– мережа радіодоступу

SDN – Software-Defined Networking

SD-WAN – Software-defined wide area network– Програмно-визначувана глобальна мережа

SVM – Support Vector Machine– Опорна векторна машина

MH – Машинне Навчання

ШІ – Штучний Інтелект

ВСТУП

Застосування штучного інтелекту у покращенні ефективності телекомунікаційних систем є важливою та актуальною темою у сучасному світі. Завдяки стрімкому розвитку технологій, ці системи безперервно змінюються для забезпечення надійного та швидкого обміну інформацією. Тут велику роль відіграють рішення ШІ, які сприяють підвищенню продуктивності та ефективності телекомунікаційних систем. Використання штучного інтелекту в телекомунікаціях відкриває перед нами безмежні можливості для автоматизації процесів, прогнозування навантаження, забезпечення безпеки та поліпшення якості обслуговування. ШІ може бути використаний для оптимізації управління мережею, аналізу великих обсягів даних, виявлення помилок та багато інших завдань.

У межах даного дипломного проекту буде проведено аналіз можливостей використання штучного інтелекту для підвищення продуктивності телекомунікаційних систем. В рамках цього дослідження будуть розглянуті різні підходи та методи, спрямовані на досягнення цієї мети, і проведено аналіз реальних прикладів впровадження ШІ в сфері телекомунікацій. Надані результати сприятимуть кращому розумінню переваг та можливих обмежень використання штучного інтелекту в даній сфері, а також сприятимуть розробці рекомендацій щодо подальшого впровадження цих технологій з метою підвищення ефективності та конкурентоздатності компаній у сфері телекомунікацій. В сучасному світі телекомунікаційні системи відіграють ключову роль у нашому повсякденному житті та в глобальному бізнес-середовищі. Завдяки стрімкому розвитку технологій, ці системи постійно змінюються та вдосконалюються для забезпечення надійного та швидкого обміну інформацією. І в цьому контексті важливою стає роль систем штучного інтелекту, які дозволяють підвищити ефективність телекомунікаційних систем. Застосування ШІ у телекомунікаціях відкриває перед нами безмежні можливості для автоматизації процесів, прогнозування навантаження,

забезпечення безпеки та вдосконалення якості обслуговування. ШІ може бути використаний для оптимізації мережевого управління, аналізу великих обсягів даних, виявлення несправності та багато інших завдань.

У цьому дипломному проекті ми дослідимо, як саме ШІ може бути застосований для підвищення ефективності телекомунікаційних систем. Ми розглянемо різні методи та техніки, що дозволяють досягти цієї мети, і проведемо аналіз реальних випадків використання ШІ в телекомунікаціях. Наша робота допоможе краще зрозуміти переваги та обмеження використання ШІ в цій галузі, а також розробити рекомендації для подальшого впровадження цих технологій з метою підвищення ефективності та конкурентоспроможності телекомунікаційних компаній.

1 АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ТА МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

1.1 Аналіз поточного стану розвитку штучного інтелекту

Сучасний світ стрімко розвивається, і впровадження інновацій стає важливим завданням для багатьох. Завдяки останнім досягненням у сфері зберігання великих обсягів даних та хмарних обчислень, штучний інтелект значно поліпшує свою точність та ефективність. Використання технологій, таких як ШІ та машинне навчання, набуває все більшого значення у різних сферах, сприяючи розвитку бізнесу та покращенню повсякденного життя. Штучний інтелект – це галузь комп'ютерних наук, яка дозволяє машинам моделювати людське рішення та дії. ШІ дозволяє машинам виконувати завдання, такі як планування, прийняття рішень, розв'язання задач і багато інших, які раніше вважалися характерними виключно для людей. Технології штучного інтелекту відкривають нові можливості для підприємств, створюючи простір для інновацій та покращення процесів. Багато компаній вже почали перетворювати свої бізнес-моделі та процеси, використовуючи потужності штучного інтелекту. Для того щоб зрозуміти реальний стан справ, потрібно ознайомитись з висновками великих компаній світового рівня.

Компанія Forrester – одна з найвпливовіших як дослідних так і консультаційних компаній у світі, першою розпочала розбір "галасу" зі штучним інтелектом. Представники компанії, у своїй статті про управління продуктивністю даних заявили: "Управління продуктивністю даних є обов'язковою умовою, а не звичайним бажанням. Сьогоднішній світ змінюється з експоненційною швидкістю, разом з ним зростають і обсяги даних. На сьогодні, дані стають все більш актуальними і значущими для різних галузей та компаній, що в свою чергу робить ШІ та машинне навчання більш пристосованими та затребуваними технологіями.

Данні, ШІ та машинне навчання зливаються в одне ціле та формують цілісні відносини, адже тільки ШІ разом з методами та засобами машинного навчання здатні перетворювати величезні обсяги даних в корисні знання, раціональні рішення та дії [1].

Компанія Tractica, яка займається дослідженнями у сфері маркетингу представила звіт, у якому повідомлялось, що в 10-х провідних галузях, в які впроваджується активно ШІ та які також отримують значне фінансування в період з 2018 по 2025 рік увійдуть такі сфери як телекомунікації, товари народного споживання, реклама, бізнес-послуги, сфера охорони здоров'я, роздрібна торгівля, автомобілебудування, юридичний сектор та державний сектор, страхування.

Також, директор з досліджень Tractica Адітья Каул заявила, що компанія розглядає проблему з впровадженням ШІ як частину "кривої зрілості ШІ", оскільки більшість компаній впроваджують методи та засоби ШІ в свою діяльність [2].

Таким чином, в даному підрозділі було проаналізовано поточний стан ринку штучного інтелекту, узагальнено – то стало зрозуміло про зростаюче зростання даних, проникнення ШІ в різноманітні галузі та сфери, ШІ має значний вплив на CRM, також з'явилась необхідність розширення спектру послуг ШІ. Загалом, звіти Forrester, Tractica свідчать про швидкий розвиток та широке використання штучного інтелекту у бізнесі та інших сферах, а також про його значний потенціал для оптимізації процесів та збільшення ефективності управління.

1.2 Модернізація застарілих систем за допомогою методів штучного інтелекту

В залежності від поточного стану системи, існують різні рівні складності модернізації. Як приклад, для деяких систем, що вже вважаються застарілими може знадобитись виправлення або корегування в роботі, для інших же зміна платформи або перехід у нову екосистему, яка буде заснована на нових технологіях та стандартах.

На даний час сфера телекомунікацій відчуває на собі перш за все економічний тиск, а також тиск з боку постійно зростаючих вимог ринку. З величезною кількістю абонентів, зростаючою кількістю телекомунікаційних продуктів та їхнім різноманіттям, постачальники послуг зв'язку (CSP) повинні мати можливість керувати власним бізнесом більш ефективніше, постійно оптимізуючи послуги, мережі та продукти. Але навіть зараз, багато CSP продовжують використовувати системи та додатки, які досить складні для звичайного користувача, є на жаль менш ефективними у поточній ситуації, та вже є досить застарілими.

Застаріла система - це система та додатки, які більше не здатні підтримувати бізнес-цілі, оскільки в них застосовуються застарілі методи, засоби, та технології які не можуть виконувати завдання в швидкозростаючих та розвиваючих компаніях. Застарілі або немодифіковані системи представляють собою головну проблему у цифровій інфраструктурі. Використовуючи застарілу архітектуру, подібні системи в більшості випадків є досить складними та дорогими в обслуговуванні, підтримці та навіть інтеграція з новим цифровим середовищем може бути для них проблемою. Застарілі системи "будувались" досить монолітними. З одного боку виходить, що вони (системи) досить складні в управлінні, важко оновлюванні, але з іншого боку вони достатньо дорогі в масштабуванні та модернізації. Не варто забувати, що подібні системи також є перешкодою у наданні повноцінних послуг для клієнтів. Так, безперечно, такі системи все ще можуть працювати добре, але це поняття відносне, адже якщо врахувати як технічні так і технологічні аспекти в даних системах будуть завжди деякі обмеження. Як приклад - низький рівень безпеки, не достатньо високий рівень продуктивності або швидко-дії, водночас на CSP буде налягати значний вплив, навіть якщо сам користувач цього не помітить [3].

Отож, для того щоб успадковані (або застарілі) системи отримали необхідну їм гнучкість і маневреність відповідно до вимог сучасного бізнесу, необхідно провести модернізацію та оптимізацію. Додаткова причина для проведення даних

робіт, це те що чим старіша ІТ – система, тим вона складніша і дорожча в обслуговуванні та підтримці. У порівнянні з модернізацією застарілих систем, повне видалення старої системи і заміни її новою, безумовно є менш рентабельною та вимагає більше часу.

Існує три етапи модернізації застарілих систем:

1. Необхідно оцінити поточний стан коду, архітектури і застарілих вимог і розробити план розвитку для оновлення застарілої системи;
2. Даний етап називається реінжинірингом, який фокусується на добуванні бізнес-вимог з успадкованого програмного забезпечення і перетворенні їх на природній мові для подальшого аналізу і перспективного проектування;
3. Міграція і модернізація. На цьому етапі команда розробників модернізує інфраструктуру платформи, її внутрішню архітектуру і додає бажані функції, оптимізує в цілому роботу системи та проводить тестування (рис. 1.1).

Деколи, процес оцінки системи може бути достатньо складним. Якщо, для прикладу, ПО застаріле, а люди, які його розробили відсутні або не доступні, а разом з ними і знання, то в такому випадку на допомогу приходять штучний інтелект в поєднанні з машинним навчанням. Програми, як SonarQube, які в значній мірі покладаються на можливості штучного Інтелекту і машинного навчання, допомагають розробникам аналізувати коди, навіть якщо останні використовують застарілі фреймворки, виявляють помилки, зайві частини коду, а також вразливості безпеки [3].



Рисунок 1.1 – Преваги модернізації систем

Модернізація застарілих додатків та систем дозволяє їм працювати з більшою ефективністю та продуктивністю, без постійно виникаючих помилок, які необхідно виправляти. Результат – значна економія коштів, підвищення ефективності та результативності у виконанні завдань. Використання нових технологічних стеків в процесах модернізації систем дозволяє розробникам з більшою швидкістю розширювати можливості оновлених додатків. Такі технології, як AI, ML, мобільні додатки, Інтернет речей і керований код, можуть поліпшити існуючі застарілі додатки, роблячи їх швидше і ефективніше. Модернізація – це не тільки підвищення продуктивності, але і додавання нових функцій. Оскільки світ технологій розвивається швидкими темпами, користувачі стають все більш і більш досвідченими. Нові інноваційні елементи, впроваджені в існуючі програми, можуть краще позиціонувати компанії для задоволення бажань і вимог користувачів. Більшість старих систем мають серйозні недоліки з точки зору безпеки, оскільки в минулому випадки витоку даних і цифрового шахрайства були рідкістю. Навпаки, новітні технології розглядають безпеку і захист даних як першочергові цілі [4].

Таким чином, в даному підрозділі було розглянуто поняття застарілої системи, також проаналізовано можливі варіанти модернізації таких систем, та очікувані результати від покращення.

1.3 Штучний інтелект і машинне навчання для автоматизованого моніторингу мережах 5G та 6G

Всі існуючі мережі, будь то транспортні, телекомунікаційні, чи IT-центри і навіть цілі міста, все це потребує належного моніторингу та керування (рис. 1.2 – 1.3). Складні процеси (та люди, які їх розуміють та які ними керують) необхідні для глибокої деталізації мережі, що виявляє проблеми, їх причини та можливі способи як рішень так і запобігання. Подібні процеси необхідні для вирішення будь-яких проблем, що проходять крізь мережу, а саме для аналізу їх наслідків і для реалізації обмеження збитків та постійних рішень.

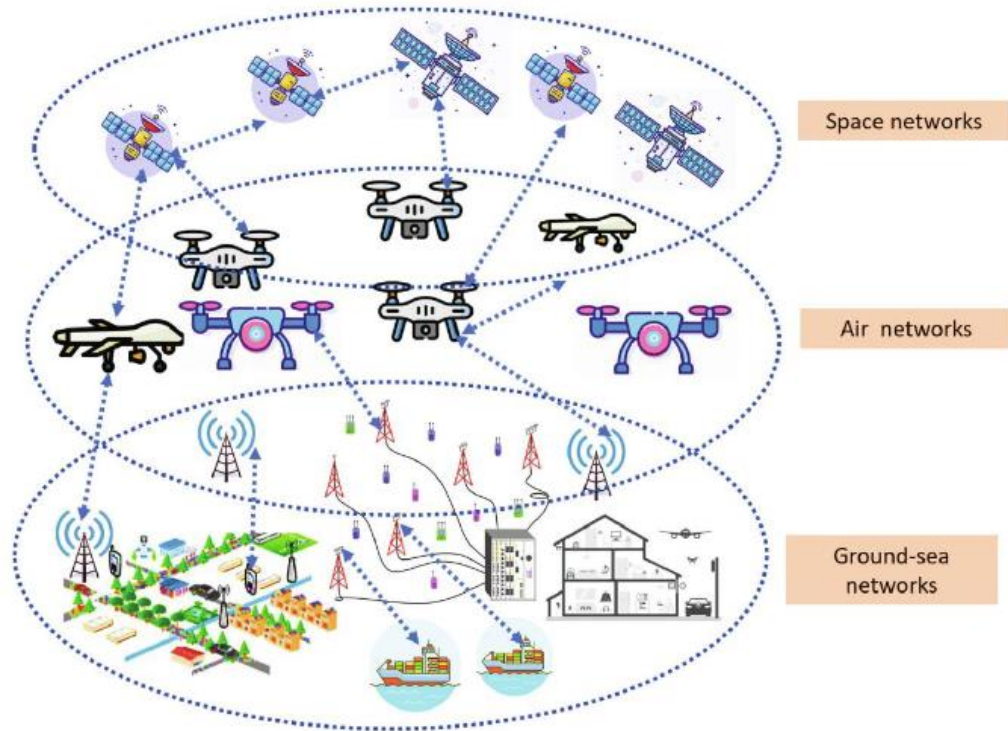


Рисунок 1.2 – Очікувана реалізація архітектури мережі 6G "Земля-Море-Повітря-Космос"

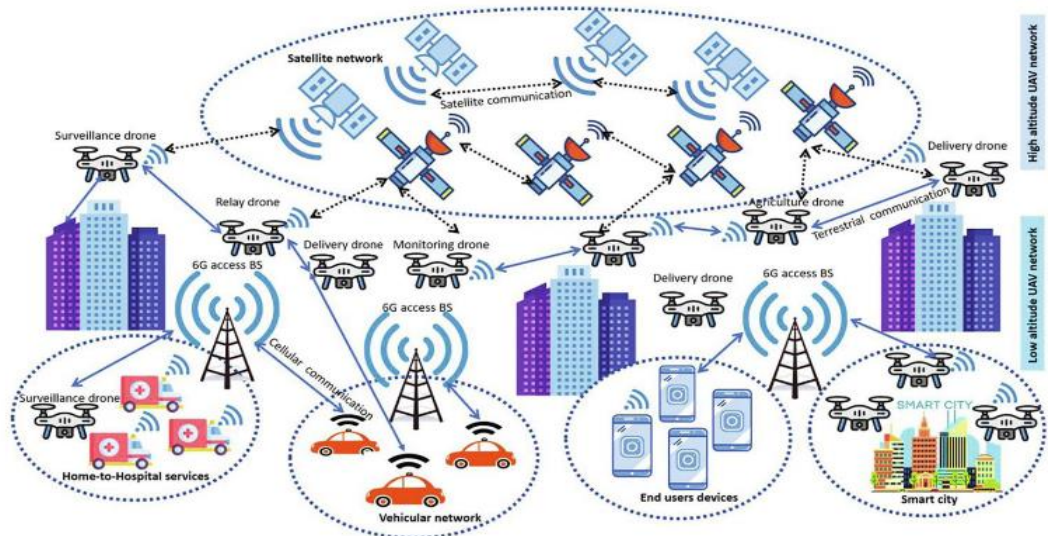


Рисунок 1.3 – Архітектура мережі 6G з використанням БПЛА

Всі, вищезгадані процеси можливі завдяки по-байтовому аналізу високоякісних даних. Для операторів телекомунікаційних мереж, такі дані сьогодні генеруються у величезних масштабах. Якщо врахувати кількість пристроїв, які підключені та обмінюються даними в інтернеті речей, а також високошвидкісних та широкосмугових можливостей 5..6G, традиційного збору та аналізу даних вже недостатньо. Саме тут час застосувати штучний інтелект та машинне навчання, саме вони відіграють особливу роль. Дані технології ще довго не зможуть замінити старомодні людські "ноу-хау". Прикладом може слугувати коли в телекомунікаційній мережі виникає абсолютно нова та особлива проблема, то пошук рішення може бути пов'язаним з власним досвідом, навичками, контекстними знаннями фахівців. Якщо поглянути з точки зору бізнесу – це означає автоматичний моніторинг проблем, які орієнтовані на клієнта, тобто такі як KPI і SLA, та з використанням даних безпосередньо з системи [6].

Отже, в даному підрозділі було проведено аналіз прогнозів з розвитку мереж 5..6G в майбутньому, було розглянуто різні варіанти побудови мережі та використання ШІ для керування ними, а також аналізу даних.

1.4 Актуальність застосування штучного інтелекту в телекомунікаціях

Галас навколо штучного інтелекту не вщухає, адже поєднання безпрецедентної обчислювальної потужності та доступності даних разом з новими варіаціями добре відпрацьованих алгоритмів машинного навчання кардинально змінює поточні стратегії для великих компаній, телекомунікаційної галузі (рис. 1.4). Зокрема, телекомунікаційній галузі доводилось завжди мати справу зі складними системами, стохастичними контекстами, різними комбінаторними проблемами і важко передбачуваними користувачами. Якщо все це врахувати, то саме час впроваджувати оптимізацію з допомогою машинного навчання та активне використання її в телекомунікаційній сфері. Складність комунікаційних мереж, здається невблаганно зростає разом з розгортанням нових послуг, таких як

програмних, які визначаються як глобальні мережі (SD-WAN), і нових технологічних парадигм, наприклад як віртуалізація мережевих функцій (NFV).

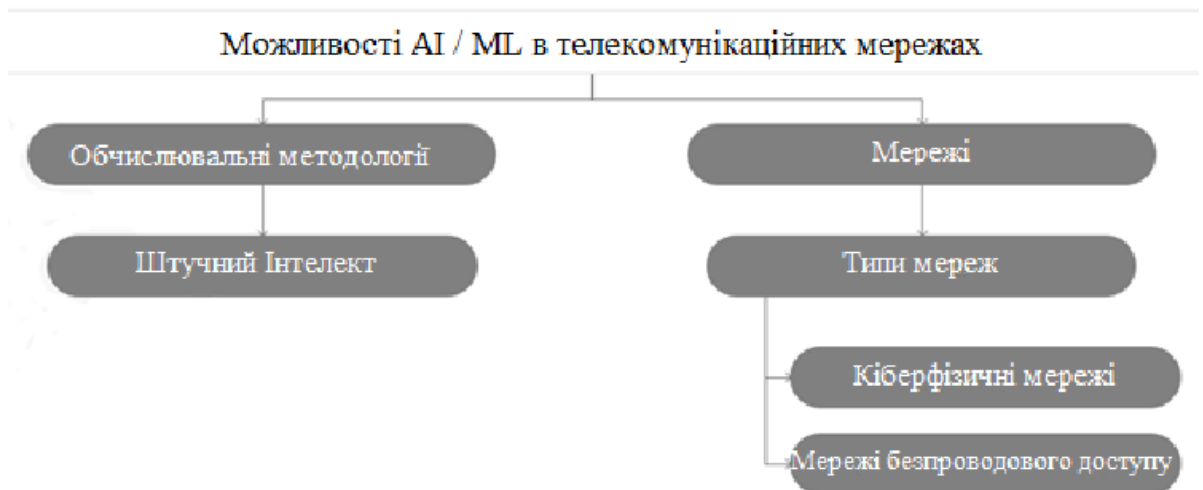


Рисунок 1.4 – Схема можливості застосування AI та ML в телекомунікаційних мережах

Для того, щоб відповідати постійно зростаючим очікуванням клієнтів, постачальникам послуг зв'язку (CSP) необхідно підвищити інтелектуальність своїх мережевих операцій, планування та оптимізації. Багато систем AI / ML сьогодні в основному складаються з інструментів «великих даних», статистичного аналізу та здорової дози маркетингу. Як припускає компанія з аналізу ринку Tractica, в своєму звіті «Штучний інтелект для телекомунікаційних додатків»[2]: «На даний момент сформувалася незріла екосистема для сценаріїв використання ШІ в телекомунікаціях, що складається з успадкованих постачальників телекомунікаційних мереж і систем підтримки бізнесу (BSS) / систем підтримки операцій (OSS), фахівці з автоматизованого обслуговування клієнтів широкого профілю, постачальники CRM, спільноти та організації з відкритим вихідним кодом, основні постачальники засобів кібер-безпеки, і невелика, але вражаюча кількість стартапів ».

1.5 Висновки до розділу

Отримані дані та аналіз підпорядковуються важливим тенденціям розвитку штучного інтелекту (ШІ), управління даними та прогнозів щодо мереж 5G та 6G. Штучний інтелект активно впроваджується в різні галузі, відіграючи ключову роль у вирішенні складних завдань та оптимізації процесів в бізнесі та суспільстві. Прогнози від Forrester, Tractica підтверджують стрімкий розвиток та широке використання ШІ, показуючи його вплив на різні аспекти, зокрема на ринок управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM). У контексті застарілих систем, аналіз варіантів їх модернізації та очікувані результати покращень стають важливими. Розвиток мереж 5G та 6G відображається як ключовий аспект майбутнього технологічного ландшафту, де використання ШІ для управління мережами та обробки даних має великий потенціал. Загалом, аналіз цих трьох напрямків (ШІ, модернізація систем та прогнози мереж 5G/6G) вказує на значний розвиток та вплив технологічних інновацій на різноманітні сфери, зокрема на підвищення ефективності управління, оптимізацію процесів та покращення взаємодії з клієнтами. Використання ШІ в цих сферах виявляє великий потенціал для майбутнього розвитку.

2 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

2.1 Впровадження штучного інтелекту в сучасних телекомунікаційних системах

Використання штучного інтелекту (ШІ) у сфері телекомунікацій швидко набирає популярності як ефективне рішення для вирішення технологічних та економічних викликів. У цьому контексті ШІ визначається як здатність систем імітувати та виконувати рішення на основі попереднього досвіду, використовуючи методи навчання, розуміння та прийняття рішень. Існує ряд перспективних застосувань ШІ у телекомунікаціях, особливо в управлінні мережами та оптимізації функціональності. Експертні системи та методи машинного навчання вже демонструють значні покращення в цих сферах, а розподілений ШІ та машинне навчання відкривають ще більше можливостей у майбутньому. Дослідження підкреслює унікальність застосування ШІ в телекомунікаціях для оптимізації функціональності та корисності додатків. Хоча теоретичних підходів багато, на практиці ШІ застосовується не в усіх продуктах повноцінно. Однак важливо зазначити, що використання ШІ має бути обґрунтованим та відповідати конкретним потребам галузі.

Загалом, штучний інтелект грає важливу роль у сфері телекомунікацій, допомагаючи вирішувати завдання ефективно та оптимізувати функціональність мережі для відповіді на зростаючі вимоги галузі.

2.2 Аналіз застосування методів штучного інтелекту в KDDI

Японська телекомунікаційна компанія KDDI, назва складається з аббревіатур від компаній які входять до її складу та розшифровується як – Daini Denden Inc., Kokusai Denshin Denwa Corp. та Nippon Idou Tsuushin. У 2016 році науково-дослідні

лабораторії даного оператора оголосили про створення системи моніторингу на базі штучного інтелекту, що використовувалась для моніторингу та прогнозування аномалій, які викликані апаратним та програмним забезпеченням NFV. Монітор, дізнається, які є нормальні та ненормальні умови, а програмно- визначена мережа(SDN)/ NFV – оператор забезпечує відповідний план відновлення, щоб затримані служби швидко зберігались та не втрачались.. KDDI вдалося описати PoC як перший у світі і важливий крок до епохи віртуалізації мережі, що підтримує 5G. KDDI R та D Laboratories Inc. у співпраці з Wind Swash KK, Hewlett- Packard Japan,Ltd., Brocade Dispatches Systems KK розробили автоматизовану систему керування мережею з використанням штучного інтелекту (AI), і успішно застосували її в мережевій віртуалізації. Це був перший у світі доказ концепції (PoC) для автоматизованої роботи мережі, який був заснований на основі прогнозування відмов за допомогою засобів ШІ [7] (рис. 2.1).

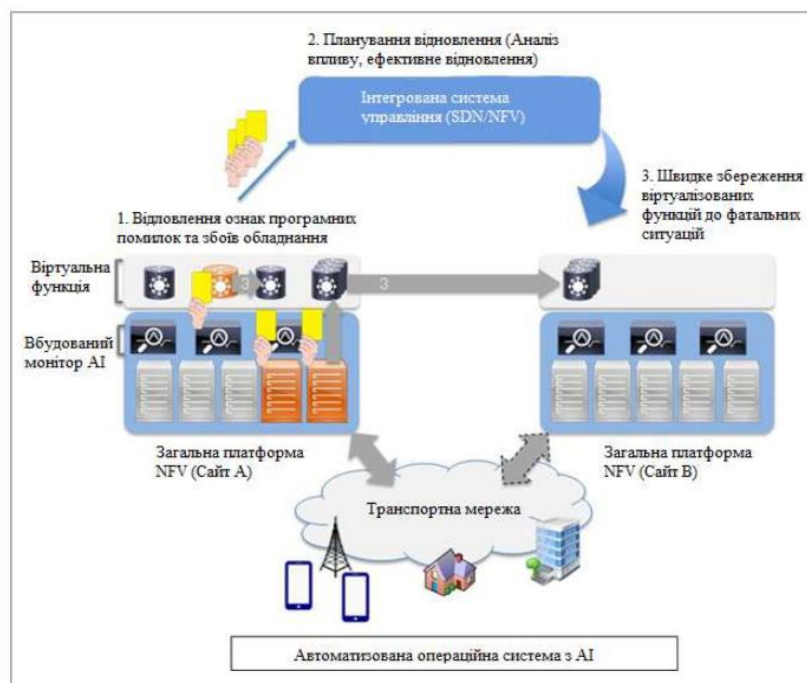


Рисунок 2.1 – Автоматизована мережа на базі штучного інтелекту PoC для

Система моніторингу на основі штучного інтелекту (ШІ) в рамках Proof of Concept (PoC) дозволила передбачити фатальні ситуації, спричинені помилками програмного забезпечення, з точністю понад 90%. Після виявлення таких ситуацій використовувався метод міграції, що був приблизно в 5 разів швидший за звичайні техніки обслуговування. Для прогнозування серйозних потенційних збоїв в платформі Network Function Virtualization (NFV) використовується система моніторингу, базована на штучному інтелекті. Цей монітор ШІ ефективно аналізує та визначає умови, після чого оркестратор SDN/NFV надає відповідний план відновлення, щоб негайно врегулювати потенційно порушені послуги. Це PoC визначається як перша в світі досягнення, що маркує важливий крок у віртуалізації мережі для підтримки 5G. Розподілені монітори ШІ, вбудовані в платформу NFV, здійснюють аналіз та прогнозування аномалій, викликаних як апаратним, так і програмним забезпеченням. ШІ-монітор виявляє тенденції до аномалій, і якщо вони мають потенційно фатальні наслідки, інтегрована система управління приймає відповідний план відновлення. Такий підхід до моніторингу ШІ застосовується через необхідність детального аналізу великого обсягу статистичних даних. Тенденції аномалій, виявлені монітором ШІ, надходять до системи управління, і оркестратор SDN/NFV визначає план відновлення. Наприклад, програмні помилки можуть призвести до раптової зупинки функцій, і альтернативна функція негайно призначається. В разі апаратних збоїв, таких як аномалії температури, можуть застосовуватися швидкі методи міграції, переміщаючи віртуальні машини в інші центри обробки даних [7].

2.3 Аналіз застосування методів штучного інтелекту в Acumos

На даний момент існує досить багато проектів з відкритим кодом та які пов'язані зі ШІ, наприклад, Caffe, Keras, Scikit-learn, TensorFlow, Theano та Torch. але найбільше пов'язаний з телекомунікаційним сектором є проект - Acumos (рис. 2.2), даний проект було організовано та розроблено групою з глибокого навчання

Linux Foundation, учасники – засновники якої (в алфавітному порядку): Amdocs, AT&T, B .Yond, Baidu, Huawei, Intel, Nokia, Orange, Red Hat, Tech Mahindra, Tencent, Univa та ZTE. Якщо детально розбирати даний продукт, то це є лабораторний проект AT&T, що було розроблено компанією Linux, з цілю застосування концепції "краудсорсингу" до розробки ПЗ. Beta-версія Asimos складається з коду від AT&T та Tech Mahindra [8].



Рисунок 2.2 – Чотири етапи розвитку ШІ за підтримки Asimos

Asimos – це інноваційна платформа, яка спрощує процес розробки та впровадження штучного інтелекту, роблячи його більш доступним для великої кількості фахівців. Замість важкодоступних і дорогих рішень, Asimos надає основу, яка дозволяє створювати моделі штучного інтелекту навіть для тих, хто не є експертами в цій галузі. Платформа Asimos дає можливість вченим, які працюють зі загальними даними (навіть не володіючи спеціалізованими знаннями в галузі машинного навчання), створювати моделі штучного інтелекту, використовуючи популярні інструменти, такі як Google TensorFlow, Scikit-learn, R або H2O, або ж програмуючи безпосередньо на Java, Python або R. Після створення моделі Asimos упакує її у контейнерний мікро сервіс, що спрощує інтеграцію

моделі у звичайні програми без необхідності спеціалізованих знань в галузі науки про дані або розробки штучного інтелекту. Особливістю Asimos є його концепція магазину додатків, де вчені та комерційні вчені можуть навіть продавати спеціалізовані моделі штучного інтелекту для рішення конкретних завдань у промисловості. Це відкриває можливість постачальникам послуг та компаніям експериментувати з цими моделями на своїх власних наборах даних і, якщо моделі будуть корисними, оплачувати їх використання виробничому процесі.

Однак Asimos обмежує свою функціональність зберіганням та обробкою даних за межами своєї компетенції, щоб уникнути ризиків конфіденційності даних. Провайдерам послуг потрібно використовувати власні платформи великих даних (такі як Kafka, Hadoop, Spark, NoSQL тощо) для подачі даних у власне середовище.

Окрім того, конкретні сфери застосування Asimos включають в себе мережі реагування на аномалії трафіку в реальному часі, оптимізацію інфраструктури, безпеку та обслуговування клієнтів через використання розумних чат-ботів. Наразі платформа має лише обмежену кількість програм/моделей, і це частково пов'язано з відсутністю чіткої моделі монетизації (ліцензування) і відсутністю автоматизованого сканування моделей на наявність шкідливого програмного забезпечення [8].

2.4 Аналіз застосування методів штучного інтелекту в Cardinality

Cardinality пропонує аналітичні інструменти, які можна використовувати для наступних цілей: управління радіоелементами; Customer Experience Management (CEM), Оперативна розвідка, Аналітика пристроїв, Розуміння маркетингу.

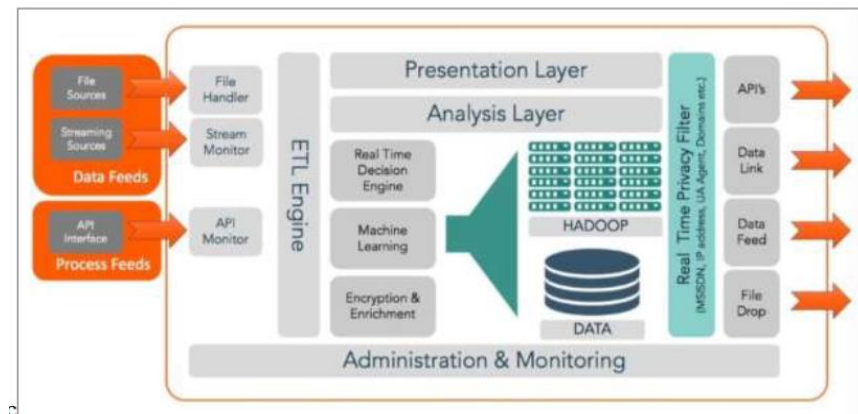


Рисунок 2.3 – Структура ПЗ Cardinality

Perception (рис 2.3) є повним рішенням від Cardinality, що об'єднує ETL Engine та Analytics Engine в єдиній скоординованій платформі. Це цілісне, універсальне рішення для всієї сфери телекомунікацій. Виявлено, що Perception може масштабуватися – від впровадження у великих корпораціях до початкових комп'ютерів, що охоплюють всі аспекти масштабу. Ця платформа фокусується на отриманні максимальної цінності з даних своїх клієнтів. Вона виконує різноманітні завдання, починаючи з процесу збору даних з будь-якого джерела, їх очищення та підготовки, а потім збагачення та створення ключових показників продуктивності (KPI), до подання даних для оперативного використання та аналізу. Perception не покладає фінансових обтяжень через зростання обсягу даних, оскільки ліцензійна вартість не залежить від обсягу даних. Також він пропонує кращу рентабельність інвестицій порівняно з автономними розгортаннями Hadoop [9].

2.5 Аналіз застосування методу інтелектуальний агент

Методи інтелектуальних агентів знайшли широке застосування в багатьох сферах через їхню універсальність та здатність адаптуватися до різних умов (рис.2.4).

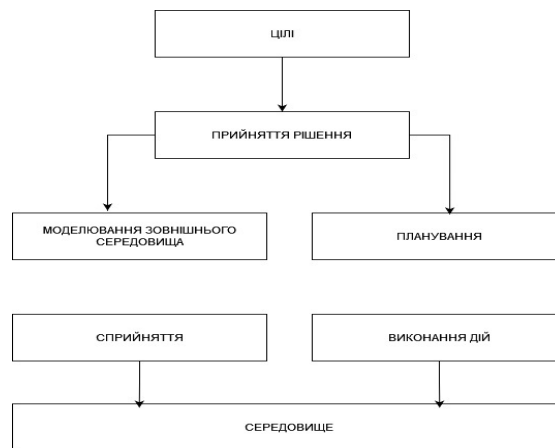


Рисунок 2.4 – Схема функціонування інтелектуального агента

Нижче наведено детальний опис та аналіз деяких з найпоширеніших застосувань методів інтелектуального агента [10].

1. Системи рекомендацій, ці системи застосовуються у великій кількості сервісів, таких як інтернет-магазини, стрімінгові платформи, соціальні мережі тощо. Інтелектуальні агенти аналізують дані про користувачів, їхній вміст, перегляди, покупки, і на основі цього рекомендують споживачам відповідний контент.

2. Фінансові системи, використовуються у фінансових установах для прогнозування курсів валют, управління портфелем акцій, автоматичної торгівлі тощо. Інтелектуальні агенти аналізують фінансові дані, новини, ринкові тенденції та здійснюють оптимальні фінансові операції.

3. Управління ланцюгом постачання, використовується в промисловості та торгівлі для управління запасами, логістикою та оптимізацією постачання. Інтелектуальні агенти аналізують дані про попит, запаси, транспортні маршрути для оптимізації ланцюга постачання.

4. Системи медичної діагностики, використовуються у медицині для діагностики захворювань, аналізу медичних зображень, обробки клінічних даних. Інтелектуальні агенти використовуються для аналізу симптомів, медичних даних, історії захворювань та надають рекомендації лікарям.

5. Системи управління трафіком, використовуються у містах для оптимізації руху транспорту, світлофорів, регулювання потоків. Інтелектуальні агенти аналізують дані про трафік, плани міста, транспортні рухи для покращення ефективності.

Ці застосування демонструють потужність та різноманіття методів інтелектуальних агентів в різних сферах. Вони допомагають покращити ефективність, зменшують людський вплив та збільшують автономність систем в різних галузях, від інформаційних технологій до медицини та промисловості. Узагальнюючи, поняття "агент" (Рис. 2.5) немає єдиного визначення слова - агент, і не існує єдиного визначення для терміна мульти-агентної системи (МАС), але у мережі телекомунікацій агент може бути різноманітним компонентом, який відповідає за виконання певних функцій або управління окремими аспектами мережі для забезпечення її ефективності, надійності та надання послуг, тому використаємо більш точний термін - Інтелектуальний агент.

Інтелектуальний агент – це програмний модуль або система, яка має можливість автономного функціонування, приймати рішення та виконувати дії в різноманітних середовищах. Основна ідея полягає в тому, що агент має свої цілі та може здійснювати дії, спрямовані на досягнення цих цілей, ураховуючи оточуюче середовище (рис.2.5) [12].

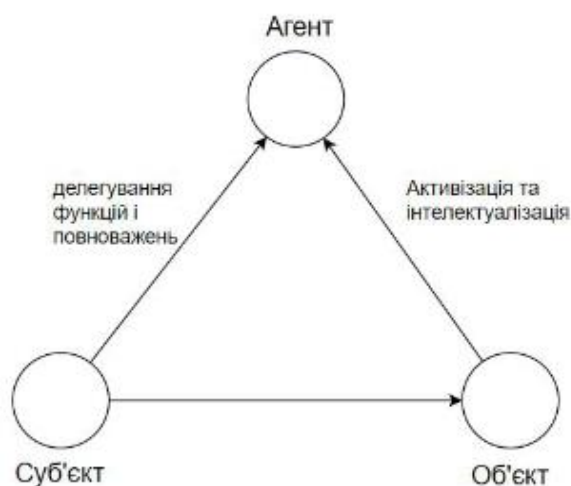


Рисунок 2.5 – Поняття «агент»

Основними блоками інтелектуального агента є:

1. Сенсори агента: Отримують повідомлення від середовища та інших агентів, перетворюючи їх на внутрішнє представлення агента.
2. Блок порівняння: Агент порівнює наявну інформацію у своїй базі знань з даними, які надходять від зовнішнього середовища та інших агентів.
3. Блок навчання: Відповідає за поповнення новими знаннями наявної бази даних. Ця база слугує для зберігання знань, отриманих агентом під час його функціонування.
4. Блок генератора проблем: Обробляються отримані дані та формується мета, яку необхідно досягти для вирішення поставленого завдання.
5. Блок реалізації рішень: Здійснює формування та реалізацію керуючого впливу на основі правил, визначених базою знань та поставленої мети [12].

Зважаючи на важливість цих характеристик для інтелектуальних агентів, слід зазначити, що їх успішне функціонування базується на взаємодії різноманітних компонентів. Доповнюючи раніше наведені властивості, розглянемо деякі ключові аспекти. Обробка інформації, де агенти можуть обробляти та аналізувати велику кількість даних для прийняття рішень. Інтелектуальні агенти зазвичай використовують алгоритми машинного навчання, штучного інтелекту, а також методи оптимізації для аналізу інформації та вирішення завдань, також варто згадати про автоматизація та оптимізація, адже це є однією з ключових переваг інтелектуальних агентів є їх здатність до автоматизації рутинних процесів та оптимізації виконання завдань. Це дозволяє звільнити час та ресурси для вирішення складніших проблем та прийняття більш стратегічних рішень. Адаптація до змін, це важлива характеристика інтелектуальних агентів, вони можуть модифікувати свої стратегії, перерозподіляти ресурси та змінювати підходи до рішень для досягнення кращих результатів в змінних умовах. Складність управління системою, а саме управління інтелектуальними агентами, особливо у великих системах з багатьма агентами, може бути складною задачею. Ефективні механізми координації, планування та співпраці можуть бути

вирішальними для успішного функціонування таких систем. Постійне вдосконалення, оскільки технології постійно змінюються, інтелектуальним агентам важливо постійно вдосконалюватися та адаптуватися до нових умов. Це включає в себе оновлення алгоритмів, використання нових джерел даних та вдосконалення внутрішніх моделей для досягнення кращих результатів. Інновації та розвиток, тісно пов'язані з агентами, інтелектуальні агенти є платформою для інновацій у галузі штучного інтелекту. Розвиток нових методів та підходів до роботи із сучасними даними, аналізу та вирішення проблем є однією з ключових складових їхнього потенціалу.

Ці аспекти визначають важливість інтелектуальних агентів у сучасному світі та підкреслюють їхній потенціал у вирішенні складних завдань, взаємодії з оточенням та впливі на технологічний розвиток. Разом з тим важливо продовжувати дослідження у цій галузі для постійного удосконалення цих агентів та максимізації їх потенціалу. Зазначені характеристики інтелектуальних агентів є критичними для їхнього успішного функціонування і взаємодії з навколишнім середовищем. Ці аспекти забезпечують агентам гнучкість, адаптивність та здатність приймати рішення у реальному часі, щоб відповідати змінам у своєму оточенні. Розглянемо детальніше деякі з цих характеристик (рис.26).

Автономність, означає, що агент має внутрішні цілі та можливість виробляти стратегії для досягнення цих цілей без зовнішнього втручання. Це дозволяє агентові пристосовуватися до змін у середовищі та приймати рішення в реальному часі для досягнення своїх цілей та задач. Реактивність та про-активність, стосується здатності агента швидко реагувати на зовнішні стимули та зміни в середовищі. Проактивність, навпаки, вказує на здатність агента генерувати власні цілі та дії, а не тільки реагувати на зовнішні події. Це дозволяє агентам бути активними у своїй діяльності та активно впливати на своє середовище. Базові знання, Навчання та Переконавання, агенти мають набір початкових знань, але також можуть вчитися та поповнювати свої знання у ході функціонування. Це навчання може базуватися на даних, отриманих від середовища, або внутрішніх спостереженнях. Переконавання

агента важливі для його вирішення проблем та прийняття рішень на основі доступних знань. Цілеспрямованість та Адаптивність агента вказує на його спрямованість на досягнення певної мети. Ця властивість, поєднана з адаптивністю, дозволяє агенту змінювати стратегії або поведінку для досягнення цілей в умовах зміни середовища. Взаємодія та комунікативність, це здатність агента взаємодіяти з іншими агентами або системами є ключовою для спільного вирішення завдань або досягнення спільних цілей. Це може включати обмін інформацією, спільні дії або координацію дій для досягнення спільних цілей. Мобільність агента дозволяє йому переміщатися у мережі або середовищі для знаходження необхідної інформації або вирішення завдань, що робить їх більш гнучкими та ефективними у взаємодії з оточуючим середовищем [24].

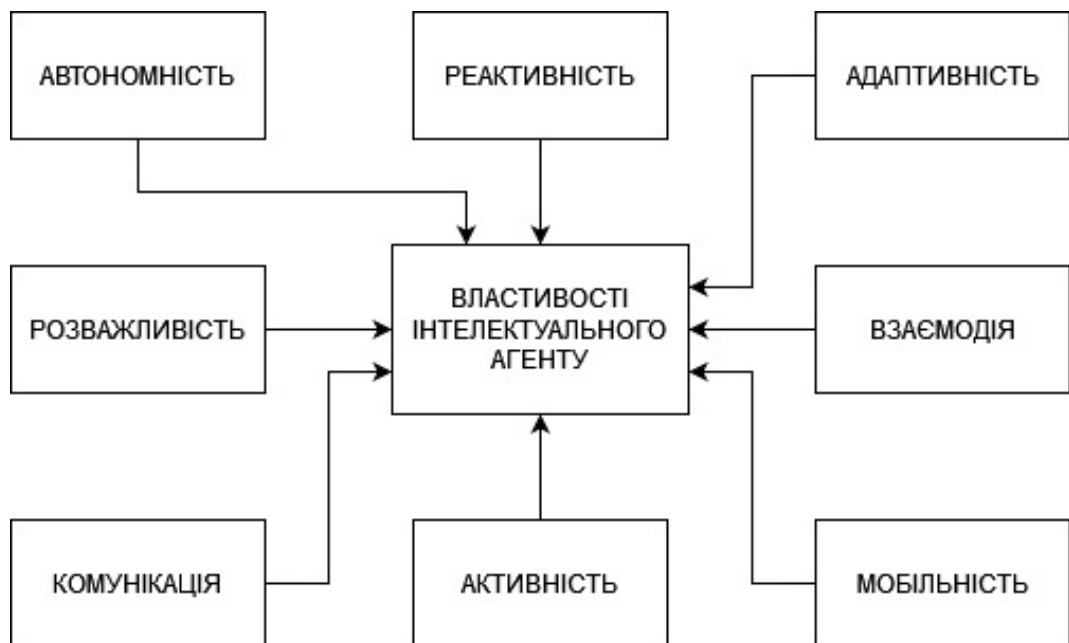


Рисунок 2.6 – Узагальнено властивості інтелектуального агента

Ці характеристики дозволяють інтелектуальним агентам ефективно адаптуватися до різноманітних сценаріїв та умов, реагувати на зміни у своєму оточенні та спілкуватися з іншими агентами для досягнення спільних цілей. Важливо враховувати, що реалізація інтелектуального агента може варіюватися

залежно від контексту застосування, його цілей та доступних ресурсів! Інтелектуальні агенти (рис. 2.7) є різноманітними та можуть бути класифіковані за різними ознаками. Ось опис основних типів інтелектуальних агентів.

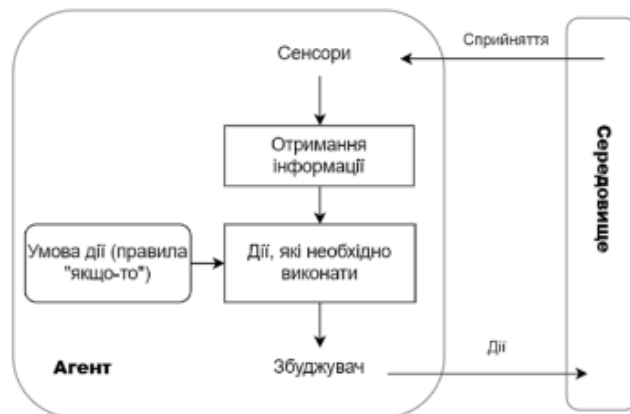


Рисунок 2.7 – Структура звичайного агента

Реактивні агенти (Reactive Agents), ці агенти (рис. 2.8) реагують на поточний стан середовища без врахування історії подій. Вони приймають рішення на основі безпосереднього сприйняття оточуючого середовища. Реактивні агенти здатні реагувати швидко на зміни у середовищі, проте вони не мають можливості планування або врахування майбутніх станів [11].

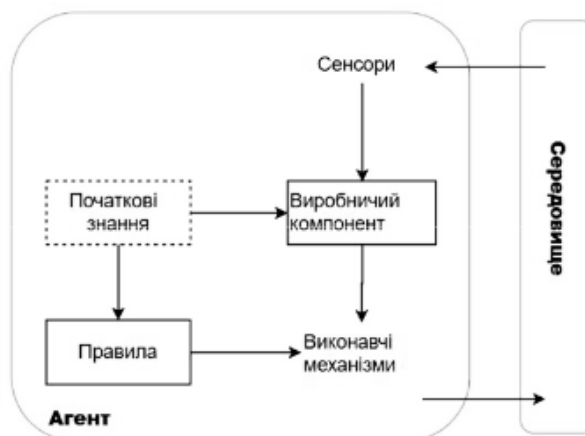


Рисунок 2.8 – Структура реактивного агента

Мульти-агентної системи (Multi-Agent Systems - MAS), це системи (рис. 2.9), в яких присутні багато агентів, які можуть взаємодіяти між собою. Мульти-агентної системи дозволяють агентам співпрацювати, конкурувати або навіть конфліктувати, щоб досягти загальних або індивідуальних цілей.

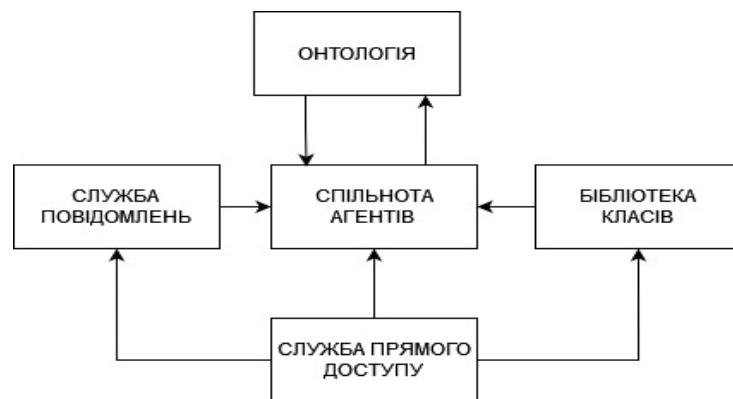


Рисунок 2.9 – Архітектура MAS

Інтелектуальні агенти з плануванням (Planning Agents), ці агенти мають можливість розробляти плани дій на основі постановки завдань та мети досягнення певних результатів. Вони враховують можливі альтернативи та шляхи досягнення цілей. Агенти з навчанням (Learning Agents), це агенти (рис. 2.10), які можуть покращувати свою продуктивність чи здатність приймати рішення через навчання на основі досвіду, отриманих даних або інформації про своє середовище [12].

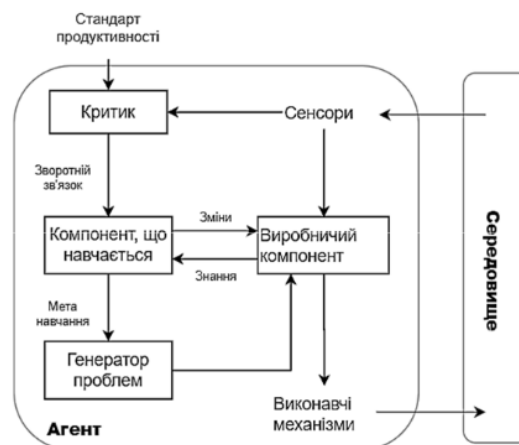


Рисунок 2.10 – Структура агента з навчанням

Ці типи агентів можуть застосовуватися у різних галузях, від інформаційних систем до автономних роботів, і кожен з них має свої особливості та переваги залежно від контексту їх використання.

Таким чином, розділ дипломної роботи про інтелектуальних агентів та їх застосування дозволив з'ясувати важливість цієї технології в сучасному світі, а також виявити перспективи подальших досліджень і використання інтелектуальних агентів для вирішення реальних проблем та завдань у різних галузях людської діяльності.

2.3 Висновки до розділу

Останні роки принесли швидкий розвиток та поширення штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) завдяки проривам у теорії нейронних мереж, наявності великих обсягів даних для експериментів та зростанню обчислювальних потужностей через хмарні платформи, такі як AWS, Azure та інші. В галузі телекомунікацій використання штучного інтелекту має кілька ключових напрямків, а саме моніторинг та управління мережевими операціями, тобто використання AI та ML для автоматизації мережевих операцій у віртуалізованому середовищі та хмарних обчисленнях для підвищення продуктивності та ефективності. Прогнозоване обслуговування, аналіз даних для прогнозування попиту та оптимізації обслуговування в телекомунікаційній галузі. Боротьба з шахрайством, а саме використання AI для виявлення та запобігання шахрайству, що може значно зменшити витрати у цій галузі. Кібербезпека, а саме застосування AI та ML для підвищення кібербезпеки та захисту від потенційних загроз. Управління віртуалізованими мережами, зокрема 5G та 6G, потребує підвищеної автоматизації, і AI та ML можуть відігравати ключову роль у прийнятті рішень в реальному часі. З розвитком нових послуг, таких як SD-WAN, та технологій SDN/NFV, складність мереж зростає. ML та AI дозволяють отримувати нові знання з мережевої телеметрії та даних про потоки, допомагаючи поставщикам послуг

передбачати вимоги та належним чином масштабувати мережі. Технології ML/AI демонструють свою корисність в різних областях, але важливо зауважити, що вони мають обмежену універсальність порівняно з людським інтелектом. Однак вони вже здатні вирішувати конкретні завдання в обмеженому контексті з послідовними вхідними даними. Інші аспекти, такі як універсальний інтелект та адаптивність до різноманітних умов, залишаються складними викликами для подальшого розвитку.

Отже, дослідження про інтелектуальних агентів та їх застосування дозволили визначити важливість цієї технології в сучасному світі, а також виявити перспективи подальших досліджень та використання інтелектуальних агентів для вирішення реальних проблем у різних галузях людської діяльності.

3 ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНА АНТЕНА»

3.1 Концепція «Розумна антена»

В сучасному світі бездротові комунікаційні технології є необхідною складовою нашого повсякденного життя. Антени, що є ключовими складовими цих технологій, постійно розвиваються та стають більш адаптивними та інтелектуальними. В цьому контексті виникає концепція розумної антени – нового підходу до проектування та функціонування антенних систем. Суть концепції розумної антени полягає в здатності антени адаптуватися до змін у середовищі, самонавчанні, автоматизованому налаштуванні та оптимізації роботи з метою підвищення продуктивності та якості зв'язку. Ця концепція базується на використанні передових технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання та сенсорна електроніка, що робить антени більш гнучкими та ефективними в різноманітних умовах експлуатації.

У даному розділі дипломної роботи розглянуто концепцію розумної антени, її теоретичні основи, функції та можливості, а також застосування в різних сферах. Досліджено технологічні аспекти розумних антен, проведено аналіз існуючих рішень та виконано експерименти для підтвердження ефективності цієї концепції. Цей розділ є спробою систематизувати та представити ключові аспекти концепції розумної антени, розкрити її потенціал та внести вагомий внесок у розвиток бездротових технологій та антенної техніки.

Антенна техніка є ключовою галуззю бездротового зв'язку та радіотехніки. Основою техніки є антена, це пристрій, призначений для прийому та/або передачі радіохвиль. Вона складається з металевих чи провідних елементів, які взаємодіють з електромагнітними хвилями для отримання або випромінювання сигналу. Основна функція антени полягає у забезпеченні якісного прийому або передачі

сигналів. Вона дозволяє комунікувати на великі відстані без значних обмежень, оскільки радіохвилі можуть проникати через перешкоди, такі як стіни або гори.

Антени застосовуються в багатьох галузях, включаючи радіокомунікації, телебачення, радіолокацію, безпроводний інтернет та радіоаматорство. Вони використовуються для отримання та передачі сигналів з великою ефективністю, дозволяючи реалізовувати різноманітні системи зв'язку, від телефонії до бездротових мереж. Антени мають різні форми та конструкції в залежності від їхнього призначення. Вони можуть бути направленими, що спрямовують сигнал у певному напрямку, або ж мати більш широкий охоплюючий характер для прийому/випромінювання сигналу в більшому діапазоні. Загалом, антени є важливими елементами у бездротових зв'язках, сприяючи ефективній комунікації на великій відстані та забезпечуючи надійний обмін інформацією у різних галузях технологій зв'язку (рис. 3.1). Основна функція антени полягає в перетворенні електричних сигналів, які подаються до неї, на електромагнітні хвилі, які випромінюються в простір або вводяться у неї для подальшої обробки. Крім того, антени можуть приймати радіохвилі з простору і перетворювати їх у електричні сигнали, які потім обробляються електронними пристроями. Антени можуть мати різні форми та конфігурації в залежності від їхніх призначень і діапазону роботи. Наприклад, деякі антени можуть бути спроектовані для роботи на конкретних частотах або в певних напрямках, тоді як інші можуть мати більш широкий діапазон роботи чи здатність спрямовувати сигнали у різні напрямки. Антени мають свої плюси та мінуси використання, які варто врахувати при їх використанні для отримання телевізійних або радіо сигналів. Використання антени для отримання телевізійних або радіо сигналів має свої переваги та обмеження, які важливо врахувати перед вибором цього методу.

Антени є відмінним рішенням з кількома перевагами. Вони забезпечують стабільний прийом сигналу, якщо налаштовані правильно, і можуть отримувати сигнали з великої відстані, що може бути недоступним іншим методам отримання сигналу. Також вони є відносно економічним варіантом без потреби у місячних

платежах або абонентських внесках, а також надають можливість отримувати безкоштовні канали без необхідності оплати послуг провайдера.

Однак, є кілька недоліків у використанні антен. Погана погода, така як дощ, сильний вітер або гроза, може негативно позначитися на якості сигналу, спричиняючи його перерви. Крім того, антени надають доступ лише до безкоштовних каналів, обмежуючи вибір, та вимагають достатньо місця для розташування, а їх фіксована орієнтація може бути незручною в деяких ситуаціях. Також, для досягнення оптимального прийому сигналу може знадобитися регулярне налаштування антени, що може бути не зовсім зручним для користувачів.

Отже, хоча використання антени є вигідним, варто врахувати її обмеження, такі як залежність від погодних умов та обмежений вибір каналів. Для тих, хто шукає більший вибір та більш стабільний сигнал у будь-яких умовах, цей метод може бути менш практичним. Узагальнено, антена - це ключовий елемент у бездротових комунікаційних системах, який забезпечує передачу та прийом радіосигналів і відіграє важливу роль у забезпеченні зв'язку між різними пристроями чи системами.



Рисунок 3.1 – Приклад Антени

Антени є ключовими елементами для передавання та отримання радіочастотних сигналів і відіграють важливу роль у комунікаційних системах. Вони характеризуються кількома основними принципами та характеристиками. Діапазон частот визначає спроможність антени працювати на певних радіочастотах, що впливає на їхню універсальність в різних комунікаційних системах. Антени можуть бути випромінювальними (трансмітуючими), що передають сигнали, або приймальними, що отримують сигнали. Направленість антен вказує на їхню спрямованість у певному напрямку. Це корисно для спрямованого передавання чи отримання сигналу. Поляризація визначає площину, в якій генеруються та сприймаються електромагнітні хвилі антеною, такі як вертикальна, горизонтальна або кругова. Коефіцієнт підсилення вказує на ефективність антени у направленому випромінюванні чи прийому сигналу. Ефективна площа антени визначає її здатність приймати чи випромінювати сигнал. Чим більша ефективна площа, тим краще антена здатна сприймати сигнали. Стійкість до шумів важлива для підсилення корисного сигналу та приглушення шумів чи перешкод з інших джерел. Отже, антени впливають на ефективність та надійність бездротових комунікаційних систем через їхні характеристики, які варіюються залежно від специфікацій та потреб конкретного застосування. Нижче наведено приклад основних типів антен.

Дипольна антена: складається з провідника, що розтягнутий у просторі, який може бути використаний для передачі або прийому сигналів (рис.3.3).



Рисунок 3.3 – Приклад дипольної антени

Параболічна антена: має форму великої тарілки або параболічного дзеркала, використовується для зосередження сигналів у певному напрямку (рис.3.4).



Рисунок 3.4 – Приклад параболічної антени

Печатна антена: виготовлена на платі з друкованими провідниками, що дозволяє створювати компактні антени для застосування у мікроелектроніці (рис.3.5).

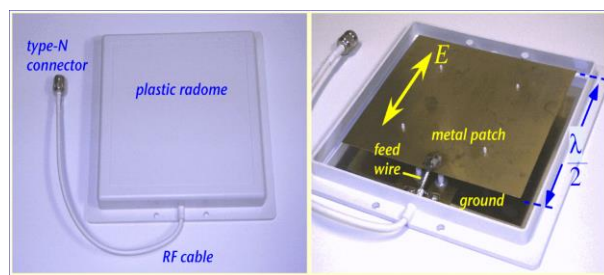


Рисунок 3.5 - Приклад печатної антени

Рупорна антена: це антена з рупор-подібною формою, яка здатна створювати досить направлені зони електромагнітного випромінювання. Вона часто використовується для мікрохвильових пристроїв, радарів та радіостанцій (рис.3.6).



Рисунок 3.6 - Приклад рупорної антени

Спіральна антена: Це антена, яка має форму спіралі. Вона добре працює для широкосмугових діапазонів хвиль і використовується в багатьох застосуваннях, включаючи медичні пристрої, радіоаматорство та спостереження (рис.3.7).



Рисунок 3.7 - Приклад спіральної антени

Секторна антена: Це антена, яка має широкий кут випромінювання. Вона використовується для створення бездротових мереж та Wi-Fi зон покриття (рис.3.8).



Рисунок 3.8 – Приклад секторної антени

Розумна антена або Smart Antenna - це тип антени, у якій динамічне змінення параметрів та характеристик антени адаптивно реагує на зовнішні чи внутрішні впливи. Можливість адаптації допомагає підвищити якість прийому сигналу. Інтелектуальна антенна система оцінює напрямок приходу сигналу, використовуючи методи, такі як MUSIC (Multiple Signal Classification), оцінки параметрів сигналу через алгоритми методів варіації (ESPRIT), метод Matrix Pencil та їх похідні. Вони включають пошук просторового спектра антенної решітки чи датчика. Існують два основних типи інтелектуальних антен: перемикаючі (Switched) та адаптивні антенні решітки (Adaptive Array). Перемикаючі системи використовують кілька доступних моделей фіксованих променів. Рішення про вибір конкретного променя приймається в будь-який момент часу з урахуванням потреб системи. Така система дозволяє вибирати, який саме промінь буде доступний у конкретний момент відповідно до потреб системи. Адаптивні антенні решітки надають змогу антені зосередити промінь у будь-якому потрібному напрямку, одночасно усуваючи завадливі сигнали. Ці антени мають можливість змінювати напрямок свого променя, щоб краще вирішувати завдання, спрямовані на отримання бажаного сигналу та прибирання небажаних сигналів. Основна відмінність між цими двома типами полягає у способі вибору напрямку променя. У перемикаючих системах обирається заздалегідь заданий напрямок, тоді як у адаптивних антенних решітках можливий динамічний та адаптивний вибір напрямку променя для вирішення конкретних завдань у реальному часі. (рис. 3.3).

Технологія розумних антен (іноді відома як технологія адаптивних антенних решіток) є важливим напрямком розвитку у сфері бездротових комунікацій. Ця технологія передбачає використання антен, які можуть адаптуватися та оптимізувати свою роботу для покращення якості прийому та передачі сигналів. Основна мета полягає у забезпеченні кращої продуктивності та ефективності комунікаційних систем [22].

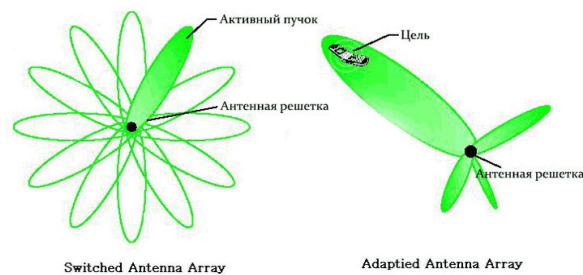


Рисунок 3.9 – Приклад антен Switched и Adaptive Array

Розумні антени виявляють переваги порівняно з традиційними антенами у багатьох аспектах комунікаційних систем. Адаптивність та автоматизація налаштувань дозволяють розумним антенам самостійно адаптуватися до змін у середовищі без потреби людського втручання, оптимізуючи параметри для максимальної ефективності, чого не можуть зробити традиційні антени з фіксованими налаштуваннями. Оптимізація радіочастотного спектру забезпечує розумним антенам можливість ефективнішого використання радіочастот для мінімізації перешкод та максимізації пропускну здатності, що покращує якість зв'язку. Масштабованість дозволяє розумним антенам бути застосованими у різних пристроях та системах зв'язку, від масивів антен до мікро антен, що робить їх більш гнучкими у використанні, порівняно з традиційними антенами. Ефективність та точність розумних антен у виправленні сигналів та мінімізації шумів робить їх більш ефективними у складних умовах зв'язку порівняно з традиційними антенами. Гнучкість та програмовані можливості розумних антен надають їм можливість

зміни параметрів та виконання різноманітних завдань в залежності від потреби, що робить їх більш гнучкими у використанні. Аналіз та обробка даних, що володіють розумні антени, дозволяють їм адаптуватися та працювати ефективніше у складних умовах зв'язку, оскільки вони можуть аналізувати довкілля та інформацію про сигнали для прийняття оптимальних рішень щодо підтримки зв'язку [12].

Розумні антени завдяки своїй адаптивності можуть автоматично налаштовувати свої параметри для оптимізації якості сигналу в реальному часі, забезпечуючи високу ефективність та точність у змінних умовах передачі даних. Деякі з методів автоматичного налаштування параметрів розумних антен включають в себе: Beamforming (формування пучка): Ця технологія дозволяє антенам спрямовувати сигнал у конкретному напрямку, підсилюючи його сигнал у цьому напрямку та пригнічуючи сигнали з інших напрямків. Автоматичне регулювання напрямку пучка допомагає покращити якість сигналу та знизити вплив перешкод. Розумні антени використовують технологію MIMO, яка дозволяє передавати та приймати кілька сигналів одночасно, поліпшуючи якість та швидкість передачі даних. Автоматичне керування цією технологією допомагає антенам адаптуватися до змін у середовищі передачі даних. Автоматичне керування частотою (AFC): Розумні антени можуть автоматично вибрати оптимальну частоту для передачі сигналу, уникати перешкод та забезпечити кращу якість зв'язку. Автоматичне керування потужністю передачі (APC): Це дозволяє антенам регулювати потужність сигналу для забезпечення стабільності зв'язку та мінімізації перешкод. Системи машинного навчання та штучного інтелекту використовуються для аналізу даних про якість сигналу та середовище передачі, щоб автоматично адаптувати параметри антени для досягнення оптимальної продуктивності в різних умовах. Технологія розумних антен знаходить широке застосування у сучасних системах зв'язку, включаючи мобільні мережі, бездротовий інтернет, радіолокацію, мережі зв'язку нового покоління (наприклад, 5G) та інші бездротові технології. Вона дозволяє підвищити надійність зв'язку, покращити якість сигналу та оптимізувати використання доступного

радіочастотного ресурсу. Основна відмінність розумних антен від традиційних полягає у їхній здатності адаптуватися до змін у середовищі та умовах зв'язку, автоматично оптимізувати параметри та забезпечувати більшу стабільність сигналу.

Адаптивна антенна решітка (ААР) – це тип антенної системи, де динамічні зміни параметрів та характеристик антени здійснюються адаптивно під впливом зовнішніх або внутрішніх чинників. Зазвичай такими факторами є наявність активних перешкод, під впливом яких можливість адаптації дозволяє підвищити якість прийому сигналів. У зарубіжній літературі адаптивну антенну решітку також називають англійською "adaptive antenna array". Якщо адаптація діаграми направленості антенної решітки здійснюється за допомогою фазо обертів, то йдеться про адаптивну фазовану антенну решітку. У цифрових антенних решітках (ЦАР) (рис. 3.10) адаптація відбувається через вагову обробку цифрових масивів сигналів на виходах аналого-цифрових перетворювачів (у приймальних ЦАР) або на входах цифро-аналогових перетворювачів (у передавальних ЦАР). Адаптивні цифрові антенні решітки за кордоном також відомі як "smart antenna" (розумна антена). Технологія адаптивних антенних решіток дозволяє забезпечувати оптимальну роботу антени в умовах змінних параметрів оточуючого середовища та впливу різних перешкод на сигнал [21].

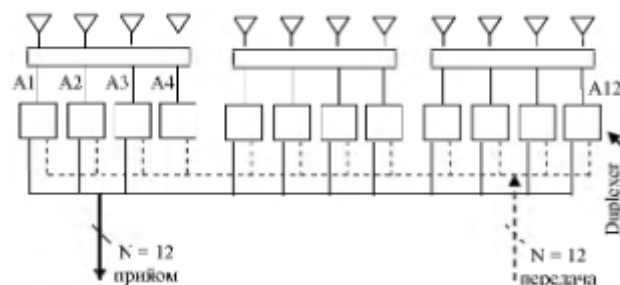


Рис. 3.10 – Типова Smart-антена базової станції від Metawave

Окремо, буде розглянуто антену МІМО (рис.3.11), що вона являє собою, її застосування та структура, а також характеристики. Отож, розглянемо випадок найпростішої антени МІМО - це система, що складається із двох монополів (або несиметричних вібраторів). Ці монополя орієнтовані під кутом $\pm 45^\circ$ щодо вертикальної осі. Це так звана ортогональна Х-поляризація, що застосовується для поділу каналів. При цьому щодо вертикалі поляризація кожної антени зрушена на 45° , а відносно один одного поляризація кожної антени зрушена на 90° . Отже, саме такий кут поляризації ставить обидва канали у рівні умови. Оскільки при горизонтально / вертикально розташованій антені один з каналів неминуче отримав би більше загасання через вплив земної поверхні. Розв'язання каналів між собою на рівні не менше, ніж на 18-20 дБ, що сприяє покращенню якості сигналу. Такий підхід до організації антен МІМО відображає технічні особливості їх роботи, де зміщення поляризації грає ключову роль у підвищенні ефективності передачі сигналів між антенами [24].



Рисунок 3.11 – Приклад найпростішої антени МІМО

Отже, саме такий підхід дозволяє одночасно передавати сигнали із однаковими несучими, які модульовані досить по різному. Забезпечення подвоєння пропускної здатності лінії радіозв'язку реалізується за допомогою принципу поляризаційного поділу у порівнянні із випадком одиночного монополя. Використання одиночного монополя значить в ідеальних умовах прямої видимості при ідентичній орієнтації приймальних та передавальних антен. Отже, можливо

дійти висновку, що по суті будь-яку систему із подвійною поляризацією можна вважати системою MIMO. Забезпечення подвоєння пропускної здатності лінії радіозв'язку реалізується за допомогою принципу поляризаційного поділу у порівнянні із випадком одиночного монополя. Використання одиночного монополя значить в ідеальних умовах прямої видимості при ідентичній орієнтації приймальних та передавальних антен. Отже, можливо дійти висновку, що по суті будь-яку систему із подвійною поляризацією можна вважати системою MIMO. Наразі саме MIMO дозволяє передавати у 2 рази більше даних за той же часовий проміжок при варіанті 2x2 у наявній смузі частот. На жаль, максимальна швидкість завантаження інформації складає 326 Мбіт/с, а не Мбіт/с, як передбачає теоретичний розрахунок, якщо використовувати антенну реалізацію 4x4. Це напряму пов'язано із особливістю передачі даних через 4 антени. Для передачі опорних символів кожній із антен виділені певні ресурсні елементи (RE). Ці елементи необхідні для оцінки каналів та організації когерентної демодуляції. У MIMO антена панельна може у прямому сенсі мати в одному корпусі два набори випромінюючих елементів ("патчів"). Прикладом можуть слугувати чотири патчі (рис.3.12), що працюють у вертикальній поляризації, а інші чотири у горизонтальній. Тобто всього отримуємо вісім патчів. Отже, до свого гнізда підключений кожен набір. Але може мати два-портове (ортогональне) живлення із одним набором патчів. У такому випадку елементи антени живляться із зсувом фази на 90° і тоді кожен патч буде працювати у вертикальній та горизонтальній поляризаціях одночасно. Один набір патчів буде підключений відразу до двох гнізд у такому випадку (Рис.3.13) [15].

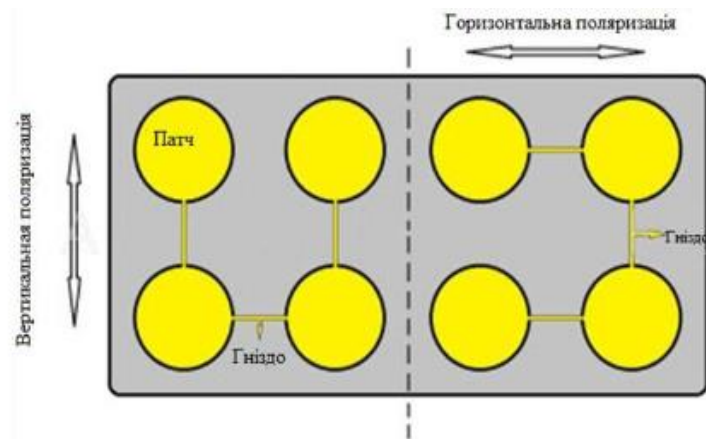


Рисунок 3.12 – Панельна МІМО антена

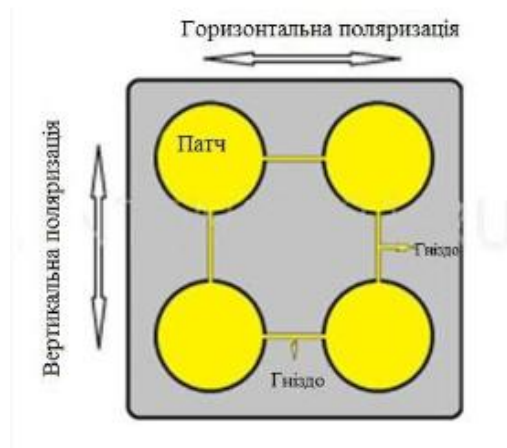


Рисунок 3.13 - Інший вид панельної МІМО антени

3.2 Аналіз МІМО технології, та її застосування в сучасних телекомунікаційних системах

Технологія МІМО (Рис 3.14) в бездротових телекомунікаційних системах відіграє ключову роль у поліпшенні ефективності передачі даних. Вона використовує множину антен для передачі та прийому сигналів, що дозволяє підвищити швидкість передачі та забезпечити стабільний зв'язок. Ця технологія

ефективно використовує простір, час та частоту для одночасної передачі та прийому даних через множину радіо-шляхів.

У контексті розвитку технологій бездротового зв'язку, масовий MIMO виявляється важливою складовою сучасних та майбутніх мереж 5G та 6G. Його розвиток та впровадження відбуваються швидко, і ця технологія стає основною у стандартах 5G New Radio (NR). Вона включає функції для підтримки різних сценаріїв розгортання, включаючи роботу на основі взаємності для різних типів систем, таких як TDD, MU-MIMO, а також променеве управління у високочастотному діапазоні [24].

Нові напрямки розвитку технології MIMO включають у себе використання інтелектуальних поверхонь, які мають великий потенціал для створення енергоефективного та економічно ефективного масивного MIMO. Інтелектуальні відбивні поверхні (IRS) можуть сприяти реалізації нових сценаріїв використання та підвищенню продуктивності бездротових систем у майбутній мережі 6G. Аналізуючи різні аспекти технології MIMO, від її принципів до застосувань у сучасних системах зв'язку, важливо враховувати не лише її переваги, але й виклики, пов'язані з її впровадженням, такі як оптимізація, спектральна ефективність та складність реалізації. При цьому, технологія MIMO залишається однією з ключових стратегій у розвитку бездротових комунікаційних систем, прогресуючи разом із стандартами 5G та майбутніми мережами 6G, і розширюючи свої можливості для вдосконалення передачі даних та покращення якості зв'язку [24].

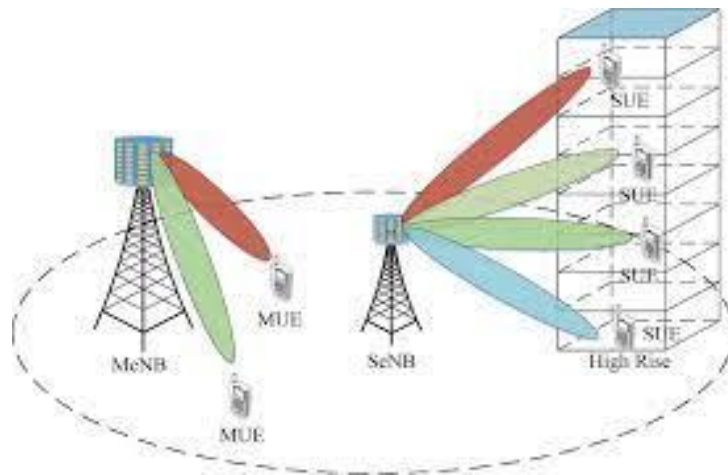


Рисунок 3.14 – Реалізація системи MIMO

З огляду на стрімкий ріст обсягів бездротової передачі даних, виникає гостра потреба у інноваційних парадигмах зв'язку, які підтримують високу швидкість передачі даних у майбутньому 6G. Масивний MIMO привернув увагу, використовуючи неявну випадковість бездротового середовища. Однак традиційний масивний MIMO ґрунтується на великомасштабних фазових решітках, які потребують значних апаратних витрат і споживання енергії через енерго-затратні фазові зміщувачі, особливо при збільшенні кількості антен. Це обмежує можливості їх масштабування для підтримки масивного MIMO на практиці. Останнім часом інтелектуальна мета-поверхня, яка представляє собою новий тип надтонкого двовимірного мета-матеріалу з вбудованими суб-вільновими розсіювачами, є новою технологією, що дозволяє економічно ефективно реалізувати масивний MIMO. Здатна одночасно відбивати та/або відбивати падаючі сигнали, поверхня може активно формувати неконтрольоване бездротове середовище у бажану форму шляхом гнучкої ре-конфігурації фазового зсуву. Оскільки така ре-конфігурація кожного елемента зазвичай виконується за допомогою одного або двох PIN-діодів, що керуються напругою зміщення, це потребує лише невеликих апаратних та енергетичних витрат у порівнянні з традиційними фазовими решітками. Таким чином, поверхню можна легко масштабувати до великих розмірів, забезпечуючи практичний метод реалізації масивного MIMO [4].

У майбутньому 6G функції бездротової локалізації та зондування будуть вбудовані у різноманітні застосування, наприклад, у навігації, транспорті та охороні здоров'я. У зв'язку з цим висувуються високі вимоги до надання послуг з тонким розділенням зондування та високою точністю локалізації. Для реалізації цієї задачі перспективним рішенням може стати масивний MIMO, оскільки ширина променя може бути зменшена за рахунок збільшення антенної решітки, що призводить до високого просторового резонансу. Однак бездротові середовища у таких системах стають все складнішими, наприклад, прямі лінії видимості (LoS) можуть бути заблоковані будівлями або об'єктами, що знижує точність зондування та локалізації.

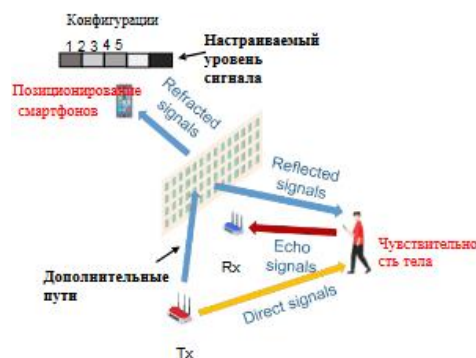


Рисунок 3.15 – Зображення безпроводної локалізації та зондування з використанням MIMO [18]

Системи MIMO можна класифікувати за декількома критеріями:

1. За кількістю антен на кожному кінці:

Класична система (SISO – Single Input Single Output), одна антена передачі і одна антена прийому. Для початку будуть розглянуті системи, які можуть бути використані для передачі даних одному користувачеві. Даний варіант (класичний) є найпершим та найпростішим. Класична система SISO (рис.3.16) в бездротових комунікаціях використовує одну антену як для передачі, так і для отримання сигналу. Це означає, що на стороні передавача є лише одна антена, яка відправляє сигнал, а на стороні приймача також присутня лише одна антена, яка отримує цей

сигнал. У SISO-системі інформація передається через один канал з однією антеною, що обмежує потужність сигналу та можливості зменшення впливу шуму та перешкод на передачу даних. Це може призвести до обмежень щодо якості та швидкості передачі в ідеальних умовах та ускладнити отримання стабільного сигналу в умовах з перешкодами або шумами [27].

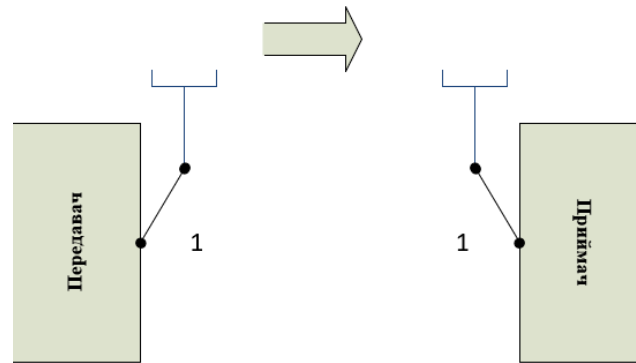


Рисунок 3.16 - SISO - Single Input Single Output

Рознесений прийом (SIMO – Single Input Multiple Output), одна антена передачі і кілька антен прийому, це конфігурація бездротового зв'язку, де відбувається передача сигналу з однієї антени передавача (один вхідний сигнал) до кількох антен приймача (множина вихідних сигналів). У цій конфігурації одна антена на передавачі використовується для відправлення сигналу, тоді як багато антен на приймачі отримують цей сигнал. SIMO-конфігурація (рис. 3.17) дозволяє підвищити ефективність прийому сигналу та покращити якість зв'язку шляхом використання кількох антен на стороні приймача для отримання одного вхідного сигналу. Це може допомогти знизити вплив шумів, погіршень у зв'язку або інших перешкод на прийом даних [27].

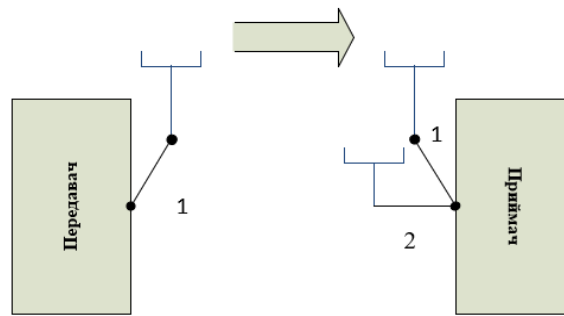


Рисунок 3.17 - SIMO - Single Input Multiple Output

Рознесена передача (MISO – Multiple Input Single Output), кілька антен передачі і одна антена прийому, це конфігурація бездротової комунікації, де відбувається передача сигналу з кількох антен передавача (множина вхідних сигналів) до одного антени приймача (один вихідний сигнал). У цій конфігурації множина антен передавача використовується для надання підвищеної потужності сигналу на приймачі або для підвищення рівня надійності зв'язку, зменшення спотворень або ускладнення перешкод. MISO-конфігурація (3.18) є однією з конфігурацій множинного введення та одиночного виводу, які можуть бути використані у бездротових мережах для покращення якості передачі сигналу. Вона використовується для створення більш ефективних та надійних систем передачі даних в бездротових комунікаціях, де використовується більше однієї антени на стороні передавача та одна або менше антен на стороні приймача [27].

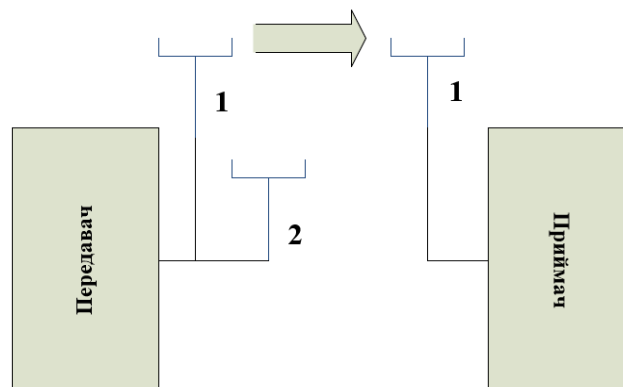


Рисунок 3.18 - MISO - Multiple Input Single Output

Просторове ущільнення (MIMO – Multiple Input Multiple Output) (рис.3.19), кілька антен як при передачі, так і прийомі, це технологія бездротового зв'язку, яка використовує багато-канальність як на стороні передавача, так і на стороні приймача для підвищення продуктивності та надійності передачі даних. У технології MIMO використовується більше однієї антени як на стороні передавача, так і на стороні приймача, що дозволяє одночасно передавати та отримувати кілька сигналів на різних антенах. Від кількості використовуваних антен залежить кількість незалежних потоків даних, які можуть одночасно передаватися. Отже, якщо кількість приймальних і передавальних антен однакова, то кількість незалежних потоків даних менше кількості антен або рівна. Як приклад, у разі використання технології MIMO 4x4 кількість незалежних потоків даних може бути 4 або менше. Але ж, якщо кількість приймальних і передавальних антен не однакова, то кількість незалежних потоків даних буде менше або рівна мінімальній кількості антен. Як приклад, у разі використання технології MIMO 4x2 кількість незалежних потоків даних може бути 2 або менше. За допомогою технології MIMO можна використовувати множину антен для створення різних шляхів передачі даних, що дозволяє підвищити пропускну здатність каналу, покращити якість передачі та забезпечити кращу стійкість до спотворень та перешкод. MIMO використовується у багатьох сучасних бездротових системах, таких як WI-FI, LTE, 5G та інші, для підвищення швидкості передачі даних, покращення продуктивності мережі та забезпечення кращої якості зв'язку в різних умовах. Ця технологія є ключовою для підвищення ефективності та продуктивності бездротових мереж у сучасному та майбутньому зв'язку [27].

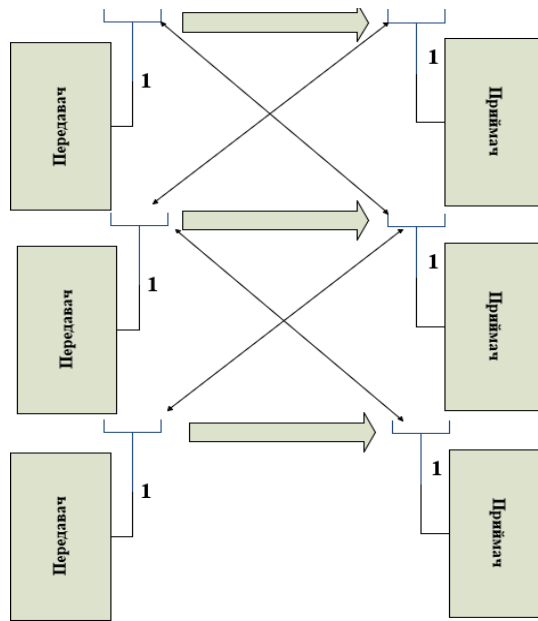


Рисунок 3.19 – Просторове ущільнення

2. За технічними характеристиками:

Single User Multiple Input Multiple Output (SU-MIMO), використання MIMO для зв'язку з одним користувачем, це технологія бездротового зв'язку, де один користувач одночасно спілкується з однією базовою станцією (або точкою доступу) через використання багатьох антен як на стороні передавача, так і на стороні приймача. У системі SU-MIMO (рис.3.20) одна станція обслуговує одного користувача за допомогою використання багатьох антен, що дозволяє одночасно передавати декілька сигналів (між різними антенами передавача та приймача) для підвищення пропускної здатності та якості зв'язку для конкретного користувача. SU-MIMO є одним із варіантів реалізації технології MIMO, який зазвичай застосовується в бездротових системах, таких як WI-FI, LTE, 5G та інші, для покращення швидкості передачі даних, збільшення кількості одночасних з'єднань та забезпечення кращої якості зв'язку для окремих користувачів. SU-MIMO дозволяє використовувати переваги технології MIMO для підвищення ефективності та продуктивності передачі даних у бездротових мережах для окремих користувачів [16].

Multi – User Multiple Input Multiple Output (MU-MIMO), використання MIMO для зв'язку з кількома користувачами одночасно, це технологія бездротового

зв'язку, де базова станція або точка доступу може одночасно обслуговувати кількох користувачів, використовуючи багатоканальність як на стороні передавача, так і на стороні приймача. У системі MU-MIMO (рис.3.20) базова станція (або точка доступу) взаємодіє з кількома користувачами, використовуючи багато антен передавача та приймача для одночасної передачі даних. Це означає, що в момент часу одна базова станція може передавати різні дані до різних користувачів за допомогою різних антенних шляхів. Технологія MU-MIMO дозволяє підвищити ефективність та продуктивність бездротової мережі, забезпечуючи одночасну передачу даних до різних користувачів з використанням багато-канальності. Це може покращити пропускну здатність мережі, забезпечити кращу якість обслуговування користувачів та підвищити ефективність передачі даних в умовах, коли велика кількість користувачів активно використовує бездротову мережу одночасно. MU – MIMO є важливою функцією у сучасних стандартах бездротового зв'язку, таких як Wi-Fi та LTE, і відіграє ключову роль у підвищенні продуктивності та ефективності мережі [16].

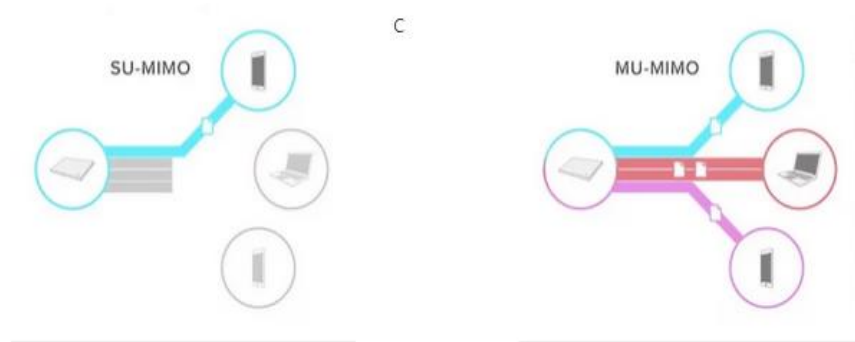


Рисунок 3.20 – Зображення технологій SU-MIMO та MU-MIMO

Space Division Multiplexing (SDM), використання просторових шляхів для передачі різних потоків даних, це технологія передачі даних, що використовує різні просторові шляхи (або просторові ресурси) для одночасної передачі різних потоків даних в рамках одного каналу передачі. Основна ідея SDM полягає в тому, щоб

використовувати різні просторові ресурси, такі як різні антени, антенні елементи або різні напрямки в множині антен, для передачі незалежних потоків даних. Це дозволяє підвищити пропускну здатність каналу і забезпечити більшу ефективність передачі. У технології SDM кожен просторовий шлях може вважатися окремим каналом зв'язку. Це означає, що різні потоки даних можуть бути відокремлені один від одного і передаватися одночасно через різні просторові ресурси, що дозволяє збільшити пропускну здатність і покращити ефективність використання каналу зв'язку. SDM є важливою складовою багатьох технологій передачі даних, зокрема в сучасних бездротових мережах (наприклад, у мережах LTE, 5G) і бездротових системах з множиною антен (MIMO), де використовуються різні просторові шляхи для досягнення високої пропускну здатності та надійності передачі даних.

Важливим аспектом у підвищенні ефективності бездротових систем зв'язку є масивне розгортання різних типів осередків, таких як макро-, мікросоти. Це дозволяє підвищити пропускну здатність, покращити покриття та енергоефективність мережі.

У контексті мереж 5G HetNet, масивні технології MIMO використовуються для досягнення великої спектральної ефективності та енергоефективності. Використання міліметрових хвиль у мережах 5G вважається перспективним, оскільки вони можуть забезпечити великий сегмент спектра для передачі даних.

Отже, технологія MIMO є важливим елементом для досягнення високої продуктивності та ефективності в бездротових системах зв'язку. З постійним розвитком і дослідженнями у цій області очікується подальше покращення цієї технології та збільшення швидкості передачі даних у майбутньому (рис. 3.21).

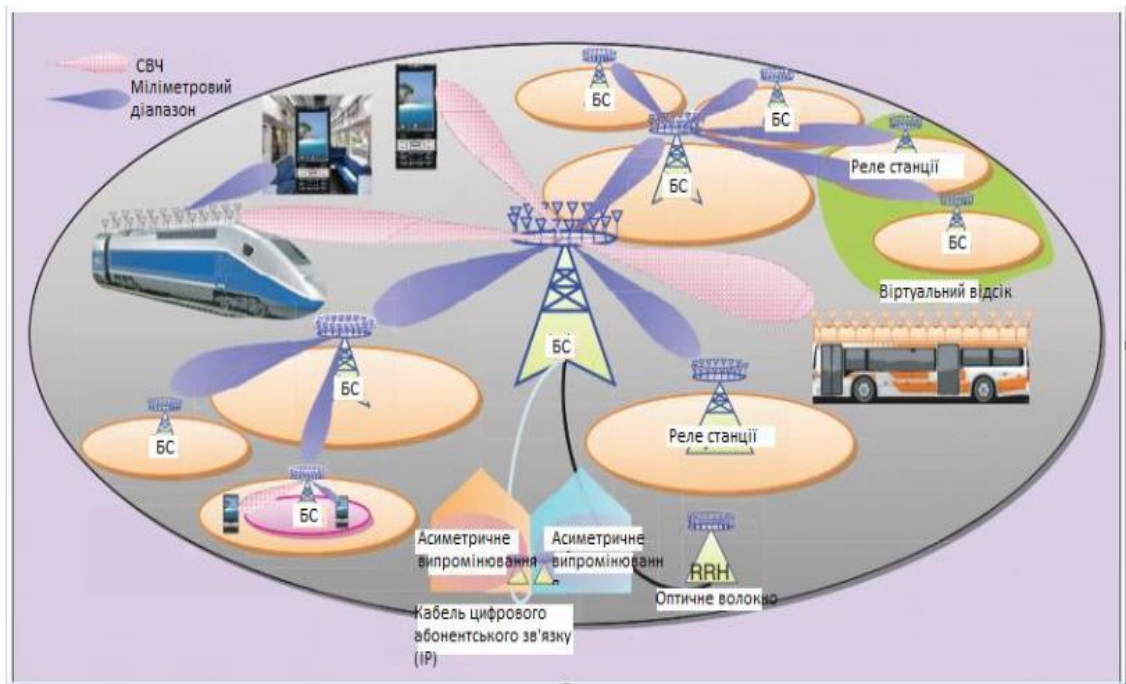


Рисунок 3. 21 – Потенційна мережева архітектура 5G, що включає масивні технології MIMO і міліметрові хвилі [20]

3.3 Висновок до розділу

У даному розділі було проаналізовано і досліджено різноманітні можливості використання методів штучного інтелекту в контексті концепції «Розумна антена».

Штучний інтелект є ключовим елементом для оптимізації роботи антенних систем, забезпечення їхньої автоматизації та підвищення їхньої продуктивності.

Виявлено, що застосування методів машинного навчання, глибокого навчання та аналізу даних дозволяє антенним системам не лише автоматично налаштовуватися з урахуванням змінних умов оточення, а й прогнозувати та адаптуватися до нових сценаріїв роботи.

Технології штучного інтелекту сприяють покращенню ефективності роботи антенних систем, забезпечуючи швидше прийняття рішень та підвищуючи точність роботи антен. Використання цих методів у контексті концепції «Розумна антена» дозволяє значно розширити можливості таких систем, забезпечуючи їхню адаптивність до різноманітних умов та потреб користувачів." Цей висновок

висвітлює важливість та переваги застосування методів штучного інтелекту в контексті розвитку концепції "Розумна антена", вказуючи на потенційні можливості у поліпшенні функціональності та ефективності таких систем.

4 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У СФЕРІ ТЕХНОЛОГІЙ МАСИВНИХ МІМО-АНТЕН

Сучасний розвиток телекомунікацій настільки стрімкий, що вчора ще вважалось найсучаснішим стандартом зв'язку, сьогодні буде вже застарілим. Так відбулося і з поколіннями комунікаційних технологій, розпочинаючи від мережі 2G для голосового зв'язку до мережі 3G для передачі даних; від мережі 4G на базі стандарту бездротового зв'язку LTE (Long Term Evolution) [29], яка радикально підвищила швидкість передачі даних і дозволила користувачам переглядати потокове HD-відео та грати в сучасні відеоігри на своїх мобільних пристроях, до рішення 5G, яке об'єднує кілька мереж на одній платформі і дозволяє сьогодні зробити реальністю Інтернет речей (IoT) [29], та в свою чергу дозволило об'єднати як персональні пристрої так і мобільні пристрої з пристроями «розумного» дому в одну екосистему, і на цьому розвиток технологій не закінчується, а активно продовжується!

4.1 Опис та огляд технології масивних МІМО-антен

За останні десятиліття активно досліджуються багатоантенні системи зв'язку, відомі як multiple-input multiple-output (MIMO). Перші дослідження з їхньої постановки відбулися ще у 1996 році, і в подальшому цей напрямок отримав значну кількість наукових праць [28-31]. Технологія MIMO, завдяки значному зростанню швидкості передачі даних, розглядається як один з ключових елементів майбутніх стандартів для наступного покоління систем зв'язку.

Основний принцип роботи системи MIMO ґрунтується на наявності кількох антен як на передавачі, так і на приймачі в каналі зв'язку. Це створює декілька "паралельних" шляхів для передачі сигналів, що дозволяє значно підвищити пропускну здатність системи (зазвичай пропорційне кількості задіяних антен) без

потреби у додатковому частотному спектрі. Цей підхід ефективно протистоїть проблемам прийому з вимкненими або втраченими сигналами через множинне відбиття радіохвиль в каналі зв'язку. Однак для успішної передачі відповідних сигналів антени на обох сторонах каналу повинні мати достатньо відстані одна від одної в просторі (більше, ніж на половину довжини хвилі [30]).

При використанні багатоантенного зв'язку важливо, щоб усі використовувані сигнали були статистично незалежними, щоб ймовірність їх одночасного не функціонування була значно нижче, ніж у випадку не функціонування будь-якого окремого сигналу. Однак через це обмеження застосування багатоантенного зв'язку на даний момент не є доцільним у мобільних телефонних мережах. Типовим прикладом застосування технології MIMO є системи зв'язку на базі стандарту IEEE 802.11 [28].

Зі збільшенням кількості антен можна зменшити вплив теплового шуму, а базова станція з більшим антенним масивом може ефективніше спрямовувати сигнал на конкретні термінали, використовуючи лінійні операції, що дозволяє більш ефективно боротися зі збоїв в рамках мережі. Перехід до діапазону міліметрових хвиль може вирішити проблеми зайнятості спектра, відведеного для систем зв'язку. Отже, дослідження систем MIMO з великими антенними масивами є актуальною теоретичною задачею, особливо як систем високошвидкісного зв'язку наступного покоління.

Ключові технологічні характеристики масивних MIMO можуть бути описані наступним чином:

1. Повна цифрова обробка: Кожна антена має свою власну радіочастотну і цифрову смугу частот. Сигнали з усіх антен на кожній базовій станції обробляються когерентно разом. Повна цифрова обробка дозволяє уникнути деяких припущень в каналі поширення, виміряти повний відгук каналу та оперативно реагувати на зміни в ньому [16].

2. Залежність від взаємності поширення і роботи TDD: Це дозволяє оцінювати низхідні канали з пілот-сигналів на висхідній лінії зв'язку та усуває потребу у попередніх знаннях каналу поширення [16].
3. Ефективні алгоритми кодування/декодування: Такі алгоритми, як максимальне відношення або обробка з нульовим форсуванням, є обчислювально вигідними. Вони працюють ефективно як з одноносійковими, так і з OFDM-системами [16].
4. Пропорційне зростання підсилення масиву: Це зростає пропорційно кількості антен на базовій станції [16].
5. Ущільнення каналу: Це успішно усуває ефекти швидкого завмирання, стабілізуючи зв'язок між терміналом і базовою станцією, що спрощує проблеми з розподілом ресурсів [16].
6. Рівномірне обслуговування для всіх терміналів: Це вдосконалює ефективність лінії зв'язку, підвищує посилення масиву і дозволяє усунути певні неполадки шляхом просторового розділення масиву [16].
7. Автономна робота базових станцій: Базові станції можуть працювати самостійно, не вимагаючи обміну даними з іншими комірками або точної синхронізації часу [16].
8. Зменшення вимог до точності і роздільної здатності інтерфейсів трансивера та цифрової обробки: Це допомагає знизити складність обчислень та передачі чисел [16].

Отже ,технологічні характеристики масивних MIMO, такі як повна цифрова обробка, ущільнення каналу, рівномірне обслуговування та автономна робота базових станцій, забезпечують оптимальну ефективність та стабільність зв'язку. Важливо зазначити, що технологія масивних MIMO-антен відкриває шлях до значних покращень у бездротових комунікаційних системах. Її потенційний вплив на розвиток мобільних мереж, інтернету речей та інших сфер є надзвичайно великим. Тому вивчення, вдосконалення

та впровадження цієї технології має велике значення для майбутнього бездротового зв'язку.

4.2 Опис реалізації методу інтелектуальний агент в комірці надщільної мережі

Розглянемо приклад застосування інтелектуального агента та технології МІМО на практиці, а саме одну комірку системи мобільного зв'язку 6G, що працює в умовах офісу. На рисунку 5.1 зображено план поверху офісу. Біля входу розміщується обладнання точки доступу/базової приймально-передавальної станції (БТС) з масивною антеною МІМО, яка формує багатопроменеву діаграму спрямованості, здатну змінювати кут направленості окремого променя діаграми спрямованості в горизонтальній та вертикальній площині. Для прикладу, на рисунку зображено лише 3 пелюстки з багатопелюсткової діаграми спрямованості, на справді, кожному користувачу, котрий підключений до базової станції надається окрема (індивідуальна) пелюстка, котра слідує за ним (користувачем). Отож, змоделюємо ситуацію, задача інтелектуального агента полягає у з'ясуванні закономірностей переміщення абонента в офісній мережі та проведенні Q-навчання для розробки моделі поведінки, яка дозволить масивній антенній системі МІМО оптимально керувати характеристиками спрямованого випромінювання окремих променів діаграми спрямованості. Існує кілька моделей руху абоненту, які можна виявити протягом певного часового інтервалу, наприклад, доби, в будь-якій частині поверху, в даному випадку даної комірці. Такі закономірності залежать від соціальної природи життя в регіоні, де впроваджено стільниковий зв'язок. Для зручності формалізації кожна кімната пронумерована, початкова точка це кімната – 1, кінцева точка – кімната – 9. Пронумеровані кімнати, дають можливість описати стани в яких може перебувати агент:

1 стан – перебування у кімнаті №1;

2 стан – перебування у кімнаті №2;

3 стан – перебування у кімнаті №3;

- 4 стан – перебування у кімнаті №4;
- 5 стан – перебування у кімнаті №5;
- 6 стан – перебування у кімнаті №6;
- 7 стан – перебування у кімнаті №7;
- 8 стан – перебування у кімнаті №8;
- 9 стан – перебування у кімнаті №9;

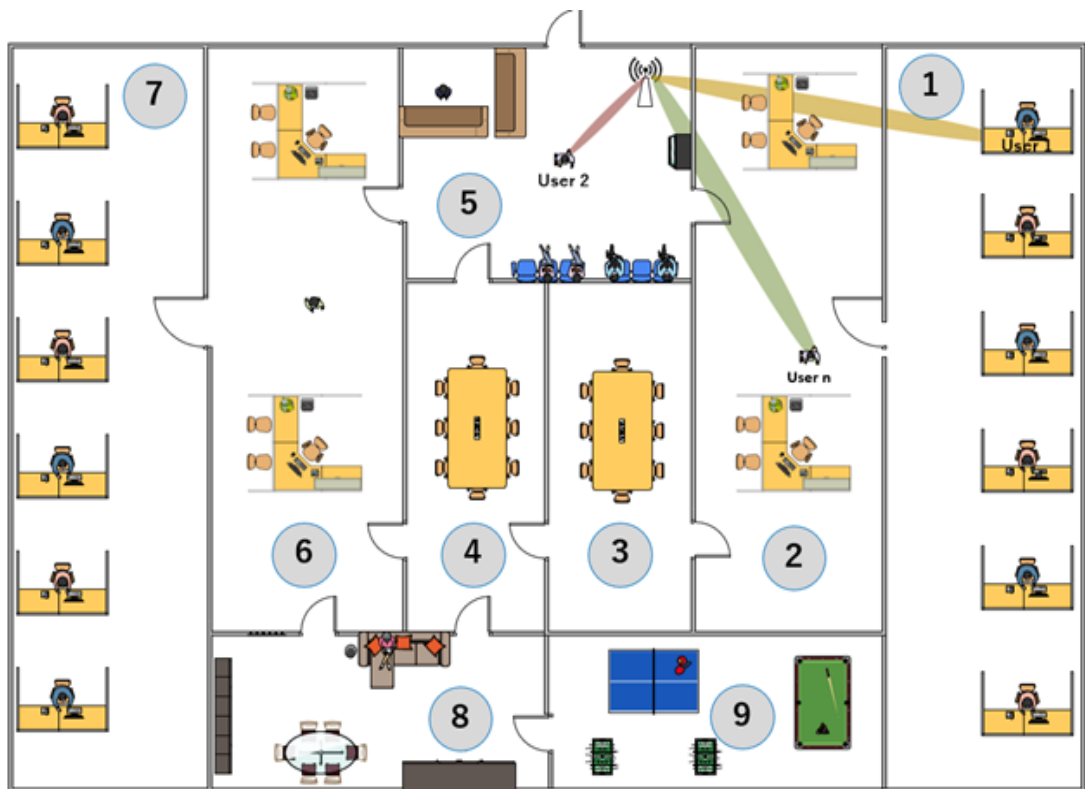


Рисунок 4.1 – План поверху, з міні-базовою станцією та антеною MIMO

Оскільки мета агента – потрапити в кімнату під номером 9. Рух агента під час переходу із одного стану в інший (під час переміщення із кімнати в кімнату) можна подати у вигляді графа. Такий граф показаний на рис.2. Надалі потрібно створити масив станів R , в прикладі подається у вигляді матриці, табл.1. На цій таблиці позначка '-1' вказує на неможливість потрапляння у кімнату, позначка '0' – про наявність такої можливості, а цифри 100 – винагороду за потрапляння в

цільову кімнату. Надалі, створюється масив Q (пам'ять інтелектуального агента) подана з припущенням про наявність початкової інформації про цільовий стан, таблиця 2.

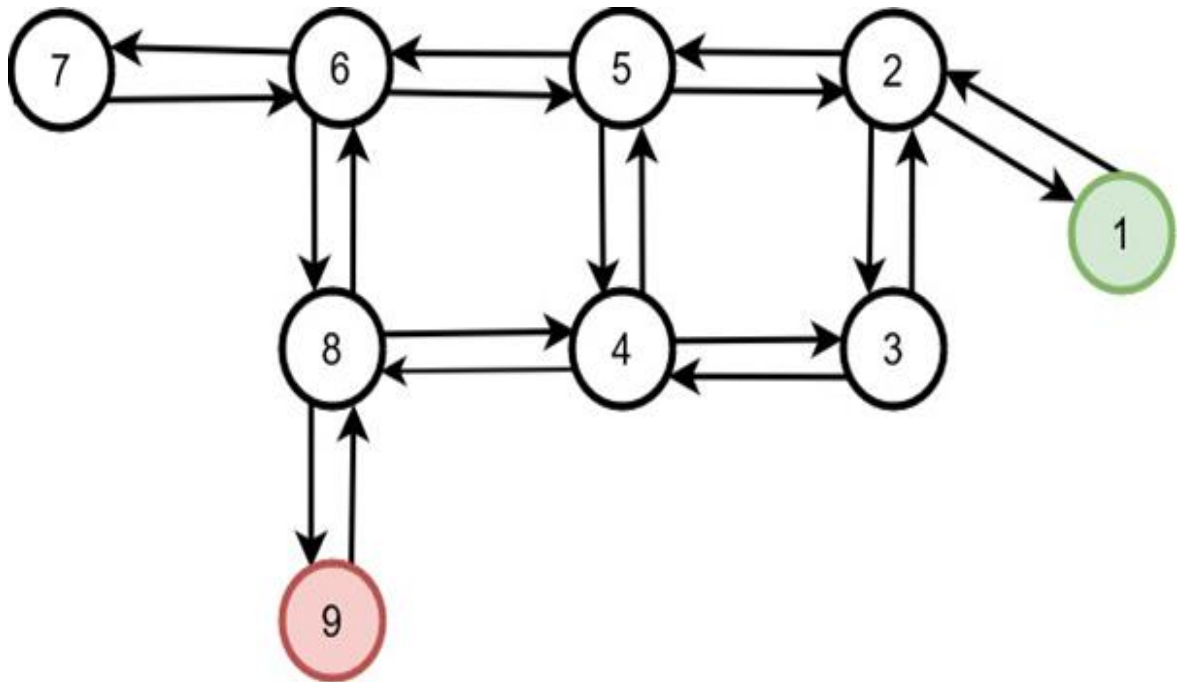


Рисунок 4.2 – Граф можливих переходів інтелектуального агента

Методика навчання агента реалізована наступним чином. Основою Q-навчання, є так звана функція корисності – Q-функція. Q-функція, що записується в наступному вигляді:

$$Q[s, a] = R[s, a] + \gamma \cdot \max(Q[s', a']), \quad (1)$$

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

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

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' ;

Отже, в цьому підрозділі детально представлено процес реалізації інтелектуального агента, який функціонує в над швидкій мережі. Описано архітектуру агента, включаючи його основні компоненти та взаємодію між ними. Також розглянуто використані алгоритми та методи, що дозволяють агенту приймати рішення та адаптуватися до змін у віртуальному середовищі.

4.3 Висновок до розділу

В розділі, присвяченому опису реалізації інтелектуального агента в над швидкій мережі, звертається увага на ключові аспекти цієї системи. Архітектура агента та його компоненти ретельно описуються, разом із способами їх взаємодії. Особлива увага приділяється інтеграції агента в мережу, включаючи способи взаємодії та його адаптацію до динаміки оточення.

Розділ також звертає увагу на масивні МІМО-антени, що стають ключовим елементом у бездротових технологіях. Їх технологічні можливості відкривають нові перспективи для розвитку бездротових комунікаційних систем, і вивчення цієї технології важливе для майбутнього бездротового зв'язку.

Наголошується також на ролі методів машинного навчання в оптимізації масивних МІМО-антен. Вони відкривають шляхи для підвищення продуктивності та ефективності систем, дозволяючи створювати прогностичні моделі та оптимізувати роботу систем МІМО. Машинне навчання також спрямоване на енергоефективність систем, що є ключовим аспектом у бездротовому зв'язку. Застосування методів машинного навчання в сфері масивних МІМО-антен є важливим кроком у розвитку технологій бездротового зв'язку, сприяючи покращенню його надійності, швидкості та ефективності.

5 РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АГЕНТ

Використовуючи теорію з попереднього розділу, проведемо необхідні розрахунки для навчання інтелектуального агента. Так, як основою Q-навчання, є так звана функція корисності – Q-функція, що записується в наступному вигляді:

$$Q[s, a] = R[s, a] + \gamma \cdot \max(Q[s', a']), \quad [26]$$

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

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

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' ;

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

γ – швидкість навчання агента від 0 до 1 (рекомендоване значення 0,8).

Також, маємо початковий граф, можливих переходів (рис. 51), матрицю R (табл. 1) , тобто масив станів, та Q – масив (табл. 2), тобто пам'ять інтелектуального агента.

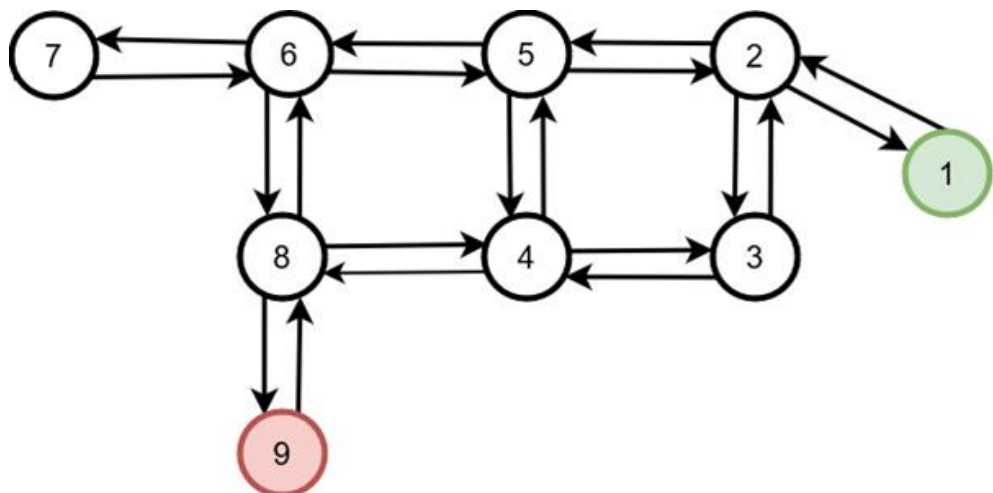


Рисунок 5.1 – Граф можливих переходів інтелектуального агента

Таблиця 5.1 – Матриця R

-	Дія										
	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Стан	1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	2	0	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1
	3	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	4	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	0	-1
	5	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	6	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	0	0	-1
	7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1
	8	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	0
	9	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Таблиця 5.2 - Масив Q – пам'ять інтелектуального агента

-	Дія										
	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Стан	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

А тому, допускаємо, що агент випадковим чином опинився в кімнаті 4. З матриці R він може дізнатися як йому діяти далі. Можливі переходи з цієї кімнати

в інші можуть бути до кімнат 8, 5 або 3. Агент випадковим чином обирає перехід до кімнати 8.

Агент знаходиться в кімнаті 8. Звідси він може потрапити до кімнати 6 або вийти до цілі (стан 9). Оскільки переходячи до кімнати (стан) 9 агент отримує винагороду в 100 балів він природно обере тільки цей шлях. Тоді винагорода за попередню дію, яку агент здійснив, перейшовши з кімнати 4 в кімнати 8 (зі стану 4 в стан 8) буде складати (з урахування того, що $\Gamma = 0,8$):

$$Q[4, 8] = R[4, 8] + 0.8 * \text{Max} (Q[8, 9]) = 0 + 0.8 * 100 = 80$$

В масив Q можна записати значення, таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Зміна масиву Q після обчислень

-	Дія										
	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Стан	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Після цього кроку граф можливих переходів інтелектуального агента буде мати вигляд, рис.5.2. Виконавши подібні обчислення для всіх можливих переходів

інтелектуального агента. Наприклад, перехід із кімнати 8 до кімнати 4 (тобто повернення назад) дасть наступний результат:

$$Q[8, 4] = R[8, 4] + 0.8 * \text{Max} (Q[4, 8]) = 0 + 0.8 * 80 = 64$$

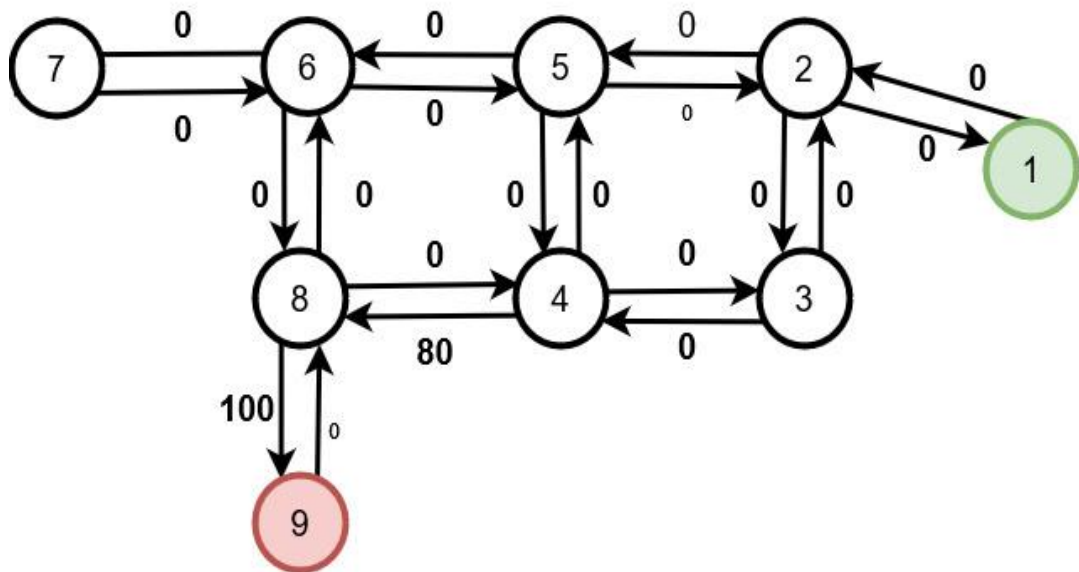


Рисунок 5.2 – Граф можливих переходів.

Особливістю проведення цих обчислень є те, що воно відбувалось з «кінця в початок», обчислювались усі можливі переходи які пов'язують кімнати між собою, а це в свою чергу, усі наявні ребра графу. Тобто, кількість обчислень дорівнює кількості ребр графу. Виконаємо подібні обчислення для усіх можливих переходів.

- 1) $Q[8, 6] = R[8, 6] + 0.8 * \text{Max} (Q[8, 4]) = 0 + 0.8 * 64 = 51$
- 2) $Q[6, 8] = R[6, 8] + 0.8 * \text{Max} (Q[8, 9]) = 0 + 0.8 * 100 = 80$
- 3) $Q[6, 7] = R[6, 7] + 0.8 * \text{Max} (Q[8, 6]) = 0 + 0.8 * 51 = 40$
- 4) $Q[7, 6] = R[7, 6] + 0.8 * \text{Max} (Q[6, 8]) = 0 + 0.8 * 80 = 64$
- 5) $Q[6, 5] = R[6, 5] + 0.8 * \text{Max} (Q[8, 6]) = 0 + 0.8 * 51 = 40$
- 6) $Q[5, 6] = R[5, 6] + 0.8 * \text{Max} (Q[6, 8]) = 0 + 0.8 * 80 = 64$
- 7) $Q[5, 4] = R[5, 4] + 0.8 * \text{Max} (Q[4, 8]) = 0 + 0.8 * 80 = 64$

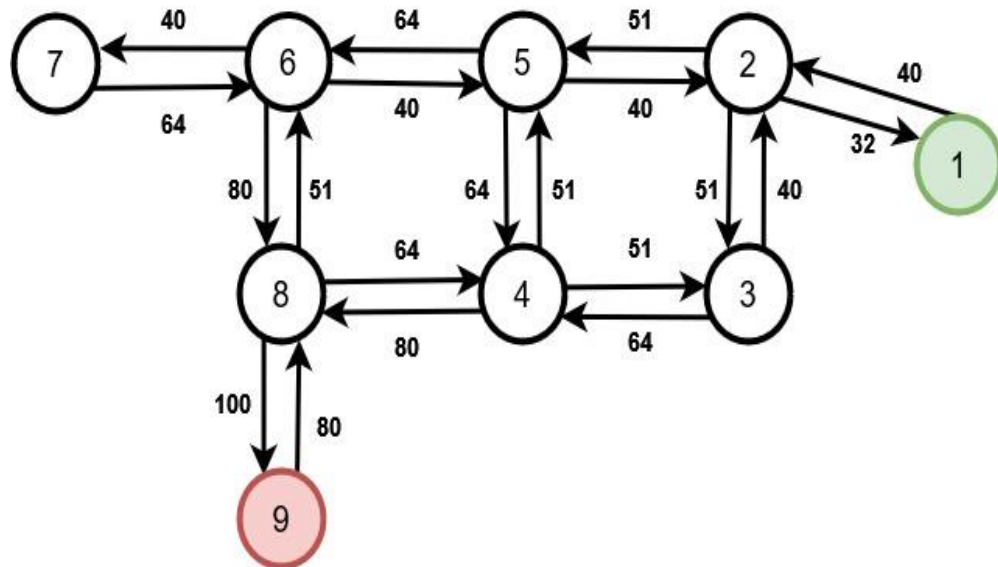


Рисунок 5.3 – Зважений граф можливих переходів

Отже, було описано реалізацію інтелектуального агента у над швидкій мережі, взаємодію компонентів та способи інтеграції в це складне середовище. Проведено тестування агента, та показано основні аспекти його роботи. Доведено, можливість використання даного методу в реальних умовах.

Реалізація методу інтелектуального агента, є ключовим у розумінні та впровадженні інтелектуальних систем. метод інтелектуального агента є важливим інструментом для створення систем, які володіють здатністю до самостійного прийняття рішень та взаємодії з оточенням. Реалізація цього методу дозволяє створювати програми, які аналізують інформацію, вчаться на основі даних та можуть адаптуватися до змінних умов. В цілому, розвиток методів інтелектуальних агентів відкриває шлях до створення більш інтелектуальних, адаптивних та автономних систем. Продовження досліджень у цьому напрямку є ключовим для подальшого розвитку і вдосконалення інтелектуальних систем.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У сучасному світі бездротових технологій, методи масивного MIMO (Multiple Input Multiple Output) стали важливою складовою, оскільки вони забезпечують оптимальну ефективність та стабільність зв'язку. Їх технологічні характеристики, такі як цифрова обробка, ущільнення каналу та автономна робота базових станцій, відкривають нові можливості для покращення бездротових комунікаційних систем. Варто зауважити, що масивні MIMO – антени відіграють велику роль у розвитку мобільних мереж, Інтернету речей та інших галузей. Вивчення, удосконалення та впровадження цієї технології має велике значення для майбутнього бездротового зв'язку. Методи машинного навчання відіграють ключову роль у оптимізації масивних MIMO-антен. Вони відкривають нові можливості для підвищення продуктивності та ефективності систем. Використання машинного навчання дозволяє створювати прогностичні моделі, що полегшують розуміння поведінки та оптимізують роботу систем MIMO. Це сприяє автоматизації процесу налаштування параметрів для підвищення точності та ефективності. Додатково, методи машинного навчання спрямовані на оптимізацію використання ресурсів та енергоефективності систем, що є ключовими факторами у бездротовому зв'язку. Приклади вже демонструють потужність цих методів: від автоматизації управління антенними системами до підвищення загальної ефективності передачі даних у високошвидкісних мережах. Узагальнюючи, використання методів машинного навчання є важливим кроком у поступовому розвитку технологій масивних MIMO – антен. Це сприяє досягненню більшої надійності, швидкості та ефективності бездротового зв'язку.

Отримані дані та аналіз демонструють, що штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання (ML) відіграють ключову роль у сучасній технологічній еволюції. Ці технології активно використовуються у багатьох галузях, включаючи телекомунікації та управління даними. Прогрес у сферах розвитку мереж 5G та 6G

виявляє потенціал для значного вдосконалення управління мережами та обробки даних завдяки застосуванню ШІ. ШІ має значний вплив на оптимізацію процесів управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM), модернізацію застарілих систем, а також на підвищення ефективності у бізнесі та суспільстві загалом. У галузі телекомунікацій, ШІ та ML забезпечують автоматизацію мережевих операцій, прогнозування попиту, боротьбу з шахрайством та підвищення кібербезпеки.

Дослідження показують, що використання методів ML та глибокого навчання в контексті "Розумної антени" і методів масивного MIMO в бездротових технологіях дозволяє системам не лише адаптуватися до змінних умов, а й прогнозувати та оптимізувати роботу в нових сценаріях. Це сприяє покращенню функціональності та ефективності антенних систем та бездротових комунікацій взагалі. Машинне навчання важливо для оптимізації масивних MIMO-антен, дозволяючи підвищити продуктивність та енергоефективність цих систем, а також підвищити їхню загальну ефективність.

Узагальнюючи, використання штучного інтелекту та машинного навчання у сполученні з розвитком мереж 5G та 6G має великий потенціал для вдосконалення технологічних рішень, підвищення продуктивності та покращення взаємодії в різних галузях. Вони допомагають системам стати більш адаптивними, точними та ефективними у вирішенні завдань, що стоять перед сучасними технологіями

СПИСОК ПОСИЛАНЬ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Руйнівні сили вимагають сміливих рішень: прогноз Forrester на 2022 рік. Домени – перевірка та реєстрація доменів в Україні | Imena.ua. URL: <https://www.imena.ua/blog/forrester-forecast-for-2022/> (дата звернення: 19.11.2023).
2. Експерти аналітичної компанії Tractica оцінили ринок ПЗ зі штучним інтелектом за 2018 рік у \$8 млрд. - ІТПРО.UA. ІТПРО. URL: https://itpro.ua/post/eksperty_analiticheskoi_kompanii_tractica_otsenili_rynok_p_o_s_iskusstvennym_intellektom_za_2018_god_v_8_mlrd/ (дата звернення: 19.11.2023).
3. Legacy systems modernization. Softengi. URL: <https://softengi.com/blog/ai-in-telecom-industry-legacy-systems-modernization/> (date of access: 15.11.2023).
4. Застосування штучного інтелекту для підвищення ефективності телекомунікаційних систем. Ela. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/49762/1> (дата звернення: 17.11.2023).
5. Хаким А. Бачення та напрямки досліджень мережі зв'язку 6G. Journal of king saud university - computer and information sciences. 2022. Т. 6, № 34. С. 2420–2440. The era of coordination. Stlpartners. URL: https://stlpartners.com/telco_cloud/why-ai-intelecoms-matters-in-the-coordination-age/ (date of access: 03.11.2023).
6. World's first successful AI-assisted automated network operation system PoC towards 5G. KDDI R&D laboratories, Inc. URL: <https://www.kddi-research.jp/english/newsrelease/2016/022201.html> (date of access: 22.11.2023).
7. Проникливість, оскільки можливий штучний інтелект з відкритим кодом. Actualidad Gadget. URL: <https://www.actualidadgadget.com/uk/накопичувати-штучний-інтелект-з-відкритим-кодом-можливо/> (дата звернення: 22.11.2023).

8. Cardinality. Elisapolystar. URL: <https://elisapolystar.com/products/cardinality/> (date of access: 26.10.2023).
9. Юнчик В. Аналіз штучних інтелектуальних агентів для систем електронного навчання. Information systems and networks. 2021. № 10. С. 41.
10. Коцовський В.М. Методи та системи штучного інтелекту : автореф. Конспект лекцій. 2016. 76 с.
11. Нікольський Ю. В. Системи штучного інтелекту : навч. посібник. – 2-ге вид., випр. та доп. / Нікольський Ю. В. – Львів : Магнолія-2013. – 279 с.
12. Пул Ян. Що таке смарт-антени / адаптивна антена ?. Fmuser.net. URL: <https://uk.fmuser.net/content/?1834.html> (дата звернення: 11.10.2023).
13. LTE MIMO - multiple input multiple output tutorial - radio-electronics | pdf | MIMO | multiplexing. Scribd. URL: <https://ru.scribd.com/document/353091772/Lte-mimo-multiple-input-multiple-output-tutorial-radio-electronics> (date of access: 12.10.2023).
14. Адаптивна антена решітка. Wikiwand. URL: https://www.wikiwand.com/uk/адаптивна_антенна_решітка (дата звернення: 11.10.2023).
15. Гер В. Рациональний вибір розміру антенної решітки MIMO для підвищення ефективності системи 5G : магістерська дисертація. Київ, 2018. 108 с.
16. Засоби штучного інтелекту: навч. посіб. / Р. О. Ткаченко, Н. О. Кустра, О. М. Павлюк, У. В. Поліщук ; М-во освіти і науки України, Нац. Ун. т «Львів», 2018.
17. Цао Ч. Застосування глибокого q-навчання з результатами моделювання для оптимізації ліфтів. 2022. № 3. С. 14.
18. X. Lin Et Al., "5G new radio: unveiling the essentials of the next generation wireless access technology", IEEE communications standards magazine, vol. 3, no. 3, pp. 30-37, September 2019

19. Reinforcement learning-based optimization for drone mobility in 5G and beyond ultra-dense networks / J. Tanveer Et Al. Computers, materials & continua. 2021. Vol. 68, no. 3. P. 3807–3823. URL: <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.016087> (date of access: 12.10.2023).
20. Kazi B. U., Wainer G. A. Next generation wireless cellular networks: ultra-dense multi-tier and multi-cell cooperation perspective. Wireless networks. 2018. Vol. 25, no. 4. P. 2041–2064. URL: <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1796-y> (date of access: 12.12.2023).
21. Рубцов І. Технічні аспекти побудови цифрових антенних решіток у системах зв'язку: навч. Посіб. Київ, 2015 – 56 с.
22. An overview of reinforcement learning algorithms for handover management in 5G ultra-dense small cell networks / J. Tanveer Et Al. Applied sciences. 2022. Vol. 12, no. 1. P. 426. URL: <https://doi.org/10.3390/app12010426> (date of access: 12.10.2023).
23. Методи штучного інтелекту: навчально-методичний і практичний посібник. – Київ: університет економіки та права «Крок», 2020 – 86 с.
24. Шостак І. В. Системи штучного інтелекту: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / І. В. Шостак, І. В. Груздо, М. О. Данова, Ю. І. Бутенко. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2012. – 80 с.
25. Rozhnovsky M.V. Application of machine learning method in massive MIMO antenna technologies. Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії : матеріали конференції, Одеса, 18 July 2023. Одеса, 2023. P. 5.
26. Рациональний вибір розміру антенної решітки MIMO для підвищення ефективності системи 5G. Tk-its. URL: <https://tkits.kpi.ua/sites/default/files/2019-03/>.
27. А. Мамта, Р. Абхішек, С. Навраті, "Бездротові мережі наступного покоління 5G: a comprehensive survey," IEEE communications surveys & tutorials, vol. 18, № 3, pp. 1617 - 1655, 2016.

- 28.Васильківський В. Підвищення ефективності інтелектуальних мереж МІМО на основі 6G. “інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”,. 2023. № 1. С. 10.
- 29.Tong W., Zhu P. 6G: the next horizon: from connected people and things to connected intelligence. University of Cambridge ESOL examinations, 2021.

ДОДАТОК А

АКТИВНИЙ РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

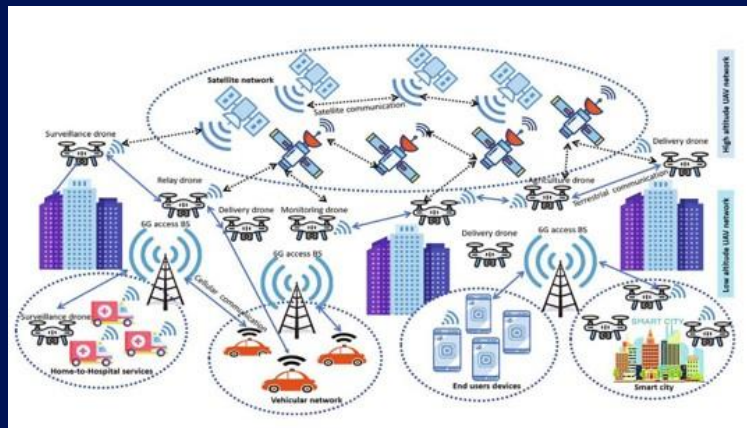


Рисунок 1 - Очікувана реалізація архітектури мережі6G

Слайд 1 – Активний розвиток технологій мереж зв'язку

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

- Особливість телекомунікаційних мереж 6G в тому, що вони передбачають абсолютне, глобальне покриття взаємозв'язаними радіомережами всієї планети, а також активне впровадження в телекомунікаційну інфраструктуру методів та систем штучного інтелекту.
- Одна з актуальних проблем, що потребує вирішення в мережах 6G – це реалізація в повній мірі концепції «розумна антена» (Smart Antenna).
- При дослідженні антенних систем в мережах 6G 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 .

Тому метою даної роботи є запропонувати метод, який забезпечить антенній системі «розуміння» та «передбачення» закономірностей руху абонентських терміналів в межах зони радіопокриття та потенційно дозволить на основі отриманих «знань» керувати діаграмою спрямованості антени в режимі реального часу

Слайд 2 – Актуальність теми

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ Q – НАВЧАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТУ

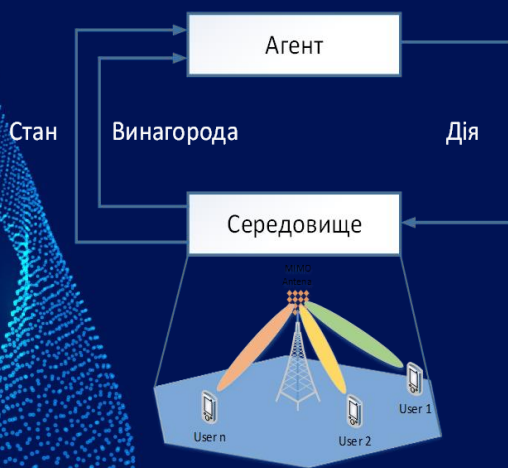


Рисунок 2 – Схема роботи інтелектуального агенту

$$Q[s, a] = R[s, a] + \gamma \cdot \max(Q[s', a']) \#$$

- де
- s – елемент множини станів $S(s_1, s_2, \dots, s_n)$, в яких може перебувати агент;
- a – елемент множини дій агента $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$;
- 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' ;
- $R[s, a]$ – матриця R (матриця винагород за перехід між станами);
- γ – швидкість навчання агента від 0 до 1 (рекомендоване значення 0,8).

Слайд 3 – Застосування алгоритму Q – навчання інтелектуального агенту

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ Q – НАВЧАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТУ

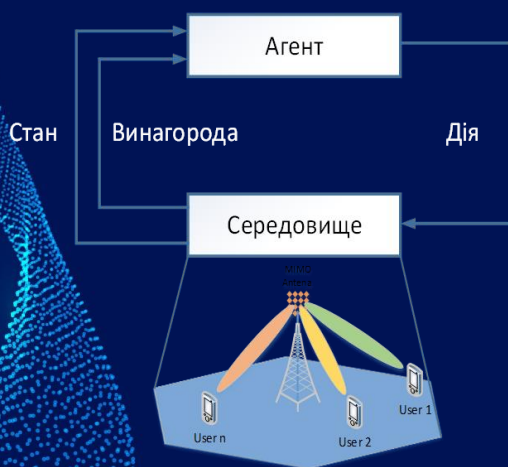


Рисунок 2 – Схема роботи інтелектуального агенту

$$Q[s, a] = R[s, a] + \gamma \cdot \max(Q[s', a']) \#$$

- де
- s – елемент множини станів $S(s_1, s_2, \dots, s_n)$, в яких може перебувати агент;
- a – елемент множини дій агента $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$;
- 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' ;
- $R[s, a]$ – матриця R (матриця винагород за перехід між станами);
- γ – швидкість навчання агента від 0 до 1 (рекомендоване значення 0,8).

Слайд 4 – Застосування алгоритму Q – навчання інтелектуального агента

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА В КОМІРЦІ НАДЩІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

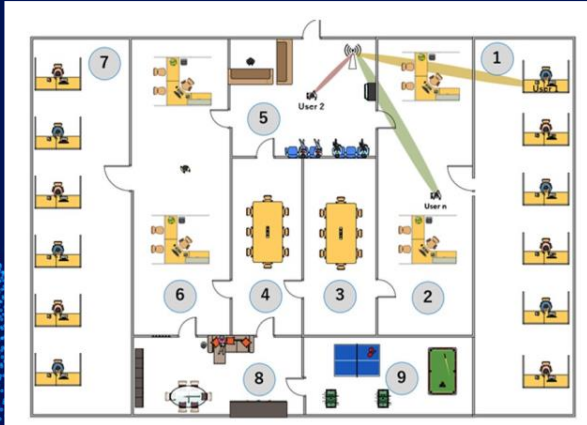


Рисунок 3 – План офісного приміщення

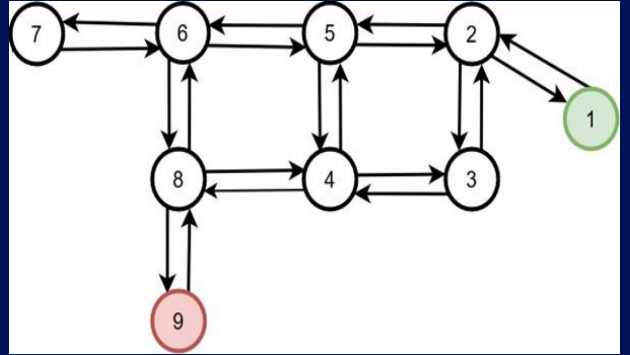


Рисунок 4 – Граф, що відповідає плану офісного приміщення

Слайд 5 – Застосування інтелектуального агента в комірці надщільної мережі

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА В КОМІРЦІ НАДЩІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Таблиця 1 – Масив Q – пам'ять інтелектуального агента

$$Q[4, 8] = R[4, 8] + 0.8 * \text{Max} (Q[8, 9]) = 0 + 0.8 * 100 = 80$$

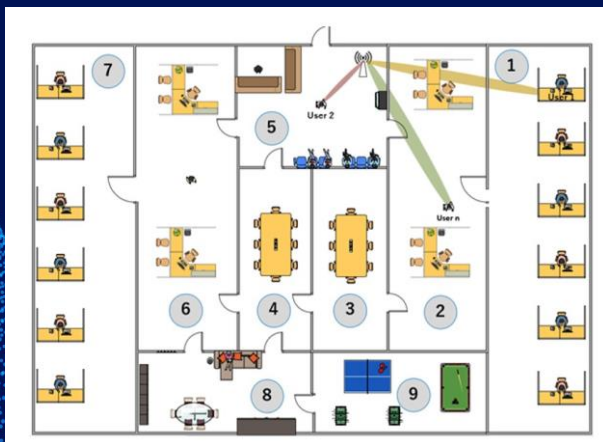


Рисунок 5 – План офісного приміщення

Стан	Дія									
	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0
2	32	0	51	0	51	0	0	0	0	0
3	0	40	0	64	0	0	0	0	0	0
4	0	0	51	0	51	0	0	80	0	0
5	0	40	0	64	0	64	0	0	0	0
6	0	0	0	0	40	0	40	80	0	0
7	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0
8	0	0	0	64	0	51	0	0	100	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

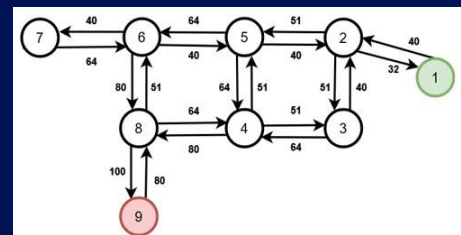



Рисунок 6 - Зважений граф можливих переходів

Слайд 5 – Застосування інтелектуального агента в комірці надщільної мережі



ВИСНОВКИ

Отже, в даній роботі:

- ✓ Детально проаналізовано тенденції розвитку сучасних телекомунікаційних мереж.
- ✓ Розглянуто перспективи застосування методів і систем ШІ в телекомунікаційних мережах майбутнього.
- ✓ Проаналізовано вимоги до реалізації концепції «розумна антена».
- ✓ Запропоновано застосовувати методи штучного інтелекту в надщільних радіомережах з метою реалізації концепції «розумна антена».
- ✓ Наведено результати аналітичних досліджень використання методу штучного інтелекту «інтелектуальний агент» в межах однієї комірки системи зв'язку.
- ✓ Обґрунтовано можливість застосування методу штучного інтелекту «інтелектуальний агент» для формування деякої «системи знань», на основі якої можна забезпечити інтелектуальне керування діаграми спрямованості антени в межах радіопокриття однієї комірки системи зв'язку.

Слайд 5 – Висновки