

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ РОЗУМНОГО МІСТА

Є. Г. Бірка, О. В. Стрельцов

Національний університет «Одеська політехніка»

**Анотація:** Запропонована у роботі модель реалізації проекту розумного міста на думку авторів є перспективним рішенням у майбутньому і викладена у вигляді теорії розвитку. Представлена модель є теоретичною та пропонує вирішення багатьох наявних проблем при реалізації проекту розумного міста за рахунок комплексного єдиного рішення шляхом зведенням існуючих технологій до гармонійного поєднання. Стек технологій було зведено за принципом посилення переваг проекту розумного міста, та наведено перелік засобів боротьби з недоліками самих технологій.

**Ключові слова:** Інтернет речей, 5G, розумне місто, бездротова мережа, обчислення на межі, LoRa, штучний інтелект

### Вступ

Керуючись тенденціями сьогодення, у рамках активної урбанізації і створення нових міст, також вважаючи сучасні вимоги та постійно активний ритм життя, перед фахівцями з абсолютно різних галузей стає завдання пришвидшення внутрішньо-міських процесів, поліпшення ергономіки міста, інтеграції, автоматизації та підвищення комфорту життя людей. Всі ці потреби знайшли вирішення у створенні та реалізації проекту розумного міста, який, безперечно, є актуальним завданням на сьогодні.

Ринок технологій пропонує широкий вибір серед глобальних проектних рішень, які охоплюють різні сфери: автоматичний комунальний побут міста, інтеграція розумних рішень, автоматизація певних процесів, тощо.

На сьогоднішній день існує дуже широкий вибір рішень.

Інтернет речей у вигляді датчиків та пристроїв для збору даних. Сьогодні ця технологія має широкий спектр застосування як у промисловості, так і у побуті. Основні риси переваг – автоматизація, надійність, мобільність та зручність.

Мережі зв'язку, такі як LoRaWAN, Zigbee, Sigfox, LTE-M, Wi-Fi. Вибір мережі залежить від потреб проекту та інфраструктури міста. Рішення передбачають передачу даних з різними швидкостями, потребами електроенергії, дистанцією передачі, тощо.

Хмарні платформи, як наслідок використання Інтернету речей для поліпшення зберігання та обробки великого обсягу даних.

Інтелектуальні системи керування, наприклад - автоматичне вуличне освітлення,

системи керування водопостачанням, електрикою та тепlopостачанням, системи автоматичного транспорту, системи запобігання автомобільних заторів і багато іншого.

Аналітика даних та штучний інтелект, як засіб прогнозування, прийняття рішень, та запобігання певних проблем, що є поширеним та популярним засобом сьогодні для пошуку надійності та стабільності.

Системи безпеки на базі розумного відеоспостереження та різноманітних датчиків, що у свою чергу дозволяє запобігати, або прискорює реагування на проблемні ситуації у соціальному та побутовому сегменті.

### 1. Аналіз проблеми

#### 1.1. Постановка проблеми

Чітку комплексну проблему розумного міста можливо сформулювати як відсутність єдиного стеку технологій в наслідок складнощів у поєднанні існуючих рішень за рахунок різних поставників рішень, стандартів та завдань що вирішуються за допомогою означених технологій. Це призвело до неможливості створення базової архітектури та загального підходу у реалізації проекту. Відсутність єдиного підходу, стандартів та стеку технологій призвело до неможливості повноцінно реалізувати усі завдання розумного міста одразу, а саме – оптимізацію керування містом (ресурсами та інфраструктурою); пришвидшення транспортних та логістичних послуг; поліпшення безпеки за рахунок аналізу, передбачення та екстреного реагування; поліпшення екологічного сегменту; високий рівень автоматизації у побуті та промисловості;

#### 1.2. Огляд існуючих актуальних рішень

© Бірка Є. Г., Стрельцов О. В., 2024

### 1.2.1 Технології Інтернету речей.

Незважаючи на те, що завдання побудови розумного міста є актуальним, нажаль, немає єдиної технології, або навіть комплексу технологій, які би втілювали проект в цілому. Як було позначено вище, існує багато різноманітних технічних пропозицій під певні потреби, але комплексні пропозиції важко формувати за рахунок складного поєднання існуючих варіантів для покриття усіх галузей побутового життя, або виробництва. Багато з наведених технологій продовжують свій розвиток та еволюціонують, що також створює додаткову проблему у прогнозуванні та створенні комплексного їх поєднання.

Слід розглянути варіативність можливостей створення розумних мереж на основі датчиків та пристроїв.

У таблиці 1 подано порівняння існуючих технологій реалізації Інтернету речей. За основу порівняння взято швидкість передачі, що має важливе значення, відстань розповсюдження сигналу та загальні потреби енергії, які були порівняні між собою.

Таблиця 1  
Порівняння характеристик технологій  
Інтернету речей

Технологія	Швидкість передачі	Відстань	Потреба електроенергії
Wi-Fi 802.11n	До 600 Мбіт/с	До декількох десятків метрів	Висока
BLE	До 1 Мбіт/с	До 100 метрів	Мінімальна
Zigbee	20-250 Кбіт/с	До 100 метрів	Низька
LTE-M	До декількох сотень Кбіт/с	Залежить від радіусу покриття	Середня
LoRa	До 50 Кбіт/с	До декількох кілометрів	Мінімальна

Загальний вектор потреб розумного міста полягає у масштабованості обраної технології, адже кожний сегмент побутового життя, чи комунального благоустрою міста може бути автоматизовано. Базові вимоги до енергоспоживання також націлені на раціональне використання. Вимоги до швидкості передачі зумовлені сектором інтеграції та можуть дуже різнитися.

Нажаль, кожна технологія має як і перелік переваг, але й переліг недоліків. Зважаючи на масштаби інтеграції датчиків, та розумних пристроїв для автоматизації слід керуватися потребами насамперед у найкращому радіусі покриття та енергоспоживанні. Саме тому увагу слід сконцентрувати на технології LoRa, яка масштабується за рахунок базового принципу великої відстані передачі даних.

Як вже було зазначено, LoRa дозволяє передавати данні на значні відстані з мінімальним електроспоживанням. Але низька швидкість передачі даних не дає змогу використовувати технологію для систем з реакцією у режимі реального часу. Також низька швидкість породжує додаткову проблему у вигляді нездатності оперувати з великим обсягом даних, тому вона ефективно підходить для підтримки систем з невеликим навантаженням на мережу і ідеально підходить для сфери комунального побуту.

Для реалізації технології LoRa використовуються унікальні мережі LoRaWAN (LoRa Wide Area Network). LoRaWAN є протоколом для бездротових мереж, який спеціально розроблений для забезпечення зв'язку на великі відстані з дуже низьким енергоспоживанням, що робить його ідеальним для інтернету речей (IoT) та M2M (machine-to-machine) додатків.

Класичний варіант реалізації LoRaWAN передбачає два головних аспекти. До першої групи відносяться вузлові пристрої у вигляді датчиків, чи пристроїв IoT. Друга група являє собою базові станції, мережеві сервери, та сервери додатків.

Вузлові пристрої функціонують на автономних джерелах живлення та мають низьке енергоспоживання, що дає змогу функціонувати великий проміжок часу без зовнішніх джерел. Потрібно також відмітити невеликий розмір пристроїв, що дозволяє розміщати їх майже будь-де, де потрібно збирати дані.

Після обробки вузловим пристроєм даних, вони передаються через LoRa-інтерфейс до базової станції на шлюз, яка в свою чергу передає їх далі на мережевий сервер. Після цього кроку мережевий сервер обробляє отримані дані, та передає їх на сервер додатків, чи у хмару для подальшої обробки і отримання кінцевої інформації на сервері додатків для користувача [1].

Для повного розуміння функціонування технології в таблиці 2 наведено інформацію про частотні діапазони [2].

Таблиця 2  
Частоти функціонування LoRaWAN у різних  
регіонах світу.

Назва	Значення у МГц приблизно	Регіон використання
EU868	868	Європа
US915	915	Північна Америка
AS923	923	Азія
AU915	915	Австралія
KR920	920	Північна Корея

Характерним є те, що для багатьох країн ці діапазони частот є відкритими для публічного використання і не потребують ліцензії. Значення регулюється від вимог операторів мережі та регуляторних обмежень саме цього регіону. Як зазначено в таблиці.

**1.2.2 Технології LTE-M, 5G.** У рамках теоретичної пропозиції створення розумного міста стільниковий зв'язок як рішення, це є основним вибором засобу передачі даних. Подібний приклад такого рішення є - це технологія LTE-M. LTE-M - технологія мобільного зв'язку, створена спеціально для інтернету речей. Вона підтримує основний базовий перелік потреб для ефективного функціонування інтернету речей, зазначених раніше та дає можливість підтримувати велику кількість пристроїв та датчиків – десятки тисяч на одну базову станцію. Але технологія розрахована на передачу невеликої кількості даних на низькій швидкості. Швидкість завантаження та вивантаження у випадку з LTE-M становить 1 МБіт у секунду [3]. Порівнюючи з показниками швидкостей передачі на низьких частотах при покритті мережею 5G, ці показники вже складають від 50 до 250 МБіт/с [4]. Зважаючи на те, що обсяги даних постійно тільки збільшуються, а інфраструктура міста може у перспективі автоматизуватись та ставати розумною у абсолютно будь-якій галузі, висунуто точку зору, що у майбутньому LTE-M не буде відповідати актуальним існуючим викликам, незважаючи на існуючу вже LTE CAT 16, адже пристрої та датчики можуть вимірюватись мільйонами, чи десятками мільйонів, а низька швидкість є перетином для реалізації певних аспектів, наприклад, таких як відеоспостереження. Також є проблема з затримкою, це є перешкодою у промисловій частині міста і не дозволяє ефективно створювати та використовувати промисловий

Інтернет речей з вимогою контролю у режимі реального часу. Додатковий аспект - практична реалізація LTE-M економічно є менш вигідною, ніж реалізація LoRa. Також в плані електроспоживання LTE-M також поступається LoRa. Частотний діапазон також викликає проблеми, адже LTE-M існує на базі активних LTE мереж, де частотний спектр обмежено від 700 МГц до 6 ГГц і розподілення низьких, середніх, та високих частот інше. Частотний діапазон менш широкий і LTE-M працює на частотах 700 МГц, 800 МГц та 1,9 ГГц у ліцензійному спектрі, який може бути задіяний для інших послуг, що створює великі проблеми з інтерференцією.

Зважаючи на це, технологія LTE-M не відповідає загальній потребі у високій швидкості у розумному місті та також у масштабах використання датчиків та розумних пристроїв не є доцільною за рахунок слабкої масштабованості. Додатковий факт – можливі конфліктні ситуації та проблеми у рамках передбаченого для роботи частотного діапазону.

5G – доволі відома технологія для загалу, адже багато хто користується нею, або знає про таку можливість. Перше загальне публічне використання мережі з 5G відбулося ще у 2018-му у чотирьох американських містах. У квітні 2019-го послуги 5G з'явилися і у Південній Кореї. У подальшому технологія активно та успішно з'являлась у всьому світі.

Швидкість 5G залежить від ряду факторів, таких як частотний діапазон функціонування, навантаження у вигляді кількості пристроїв, щільність покриття, конфігурація і пряма націленість мережі.

Роблячи базовий загальний огляд технології, слід відмітити, що 5G відповідає загальним потребам проекту розумного міста і у першу чергу – пропонує високу швидкість та надійний стабільний зв'язок.

5G функціонує у трьох частотних діапазонах. Кожний діапазон має свої особливості та використання. Представники послуг зв'язку можуть комбінувати різні частотні діапазони для забезпечення балансу покриття, обсягу та швидкості передачі інформації в певних конкретних умовах. Діапазони відображено у таблиці 3 [5].

В ідеальних умовах при використанні високих частот з міліметровими хвилями швидкість може досягати до декількох Гбіт/с. Як показали тестування у реальних умовах, на практиці ці показники значно нижчі. Це зумовлено перешкодами у вигляді дальності розповсюдження сигналу у високочастотному

Таблиця 3  
Частотні діапазони 5G

Назва	Діапазон	Частоти використання	Категорія
Низькі (Sub-6 Hz)	600 МГц – 6 ГГц	600, 700 МГц та 2.5, 3.5 ГГц	FR-1
Середні (Mid-Band)	2 ГГц – 6 ГГц	3.5 ГГц та 4.5 ГГц	FR-1
Високі (mmWave)	24 ГГц – 100 ГГц +	24, 28, 39 та 47 ГГц	FR-2

діапазоні, ландшафтними перетинами, чи щільною забудовою, перенавантаженням, тощо. Якщо брати експлуатацію середніх частот, то проблеми з більш широким покриттям та діапазоном розповсюдження сигналу стають менш впливовими, але й швидкості не будуть відповідати рівню функціонування мережі на високих частотах. Проте навіть на середніх частотах результати можуть бути від декількох сотень Мбіт/с до декількох Гбіт/с, що є значно швидше технології попередника – 4G LTE, що, безумовно, робить 5G найбільш перспективним вектором розвитку бездротових мереж у майбутньому.

Якщо розглядати використання 5G при розгортанні мережі у місті, то радіус покриття може бути значно різним в залежності від певних факторів, а саме частоти, типу антени, потужності станції, висоти встановлення та умов навколишнього середовища. В ідеальних умовах без значних ландшафтних перешкод покриття може бути до декількох кілометрів, якщо використовувати низький, або середній частотний діапазон. Для реалізації такої мережі у міських умовах слід вважати на потребу у більш щільному розташуванні вишок, адже виникає проблема з відображенням та поглинанням сигналу, це у свою чергу може привести до зниження якості зв'язку, що лишає сенсу основної переваги вибору 5G. Проте на сьогодні це є найоптимальніший вибір з точки зору надійності, покриття та глибини проникнення сигналу стільникового зв'язку.

Для забезпечення зв'язку для загальних потреб слід зупинити вибір саме на високих частотах. Попри всі згадані недоліки, є рішення для боротьби з ними. Збільшення кількості базових станцій допомагає зменшити вплив відображення та втрат сигналу та забезпечує краще покриття. Використання антен з більшою кількістю променів дозволить управляти напрямком сигналу та фокусувати його на певну ділянку. Додаючи до цього, можливо

використання розумних алгоритмів ретрансляції з розрахунком на базі аналітики втрат та відображень, що також забезпечує додаткову надійність та зменшує затримку. Якщо при цьому використовувати інтегровані рішення для управління інтерференцією, а саме смарт-антени та ввести чітке розподілення частотних діапазонів, то загальний комплекс усіх вищезазначених рішень дозволить максимально ефективно використовувати мережу 5G та досягнути вищої продуктивності.

Зосередимо увагу також на низьких частотах, а саме на позначках, приближених до 900 МГц. Частоти у цьому діапазоні відповідають за ширину покриття, рівномірну якість сигналу, та мають властивість проникати краще через перетини, ніж високі частоти. А головне, їх можливо використовувати у рамках підтримки пристроїв IoT. Душе широкий сегмент частот дає змогу оперувати цим спектром. Саме тому є можливість виділити частоту приблизно в 900 МГц для функціонування інтегрованої LoRa у стек технологій.

У рамках проекту розумного міста слід відмітити ряд переваг використання 5G. А саме - високошвидкісний доступ до мережі як у бізнес-сегменті, так і у промисловості з побутом. Також це низька затримка, що дає змогу ефективно впроваджувати системи управління реального часу, автоматизація певних процесів, також активних систем безпеки. Щодо безпеки також слід відмітити вагому перевагу, що технологія дозволяє зупинити вибір саме на комплексних системах з високою роздільною здатністю та можливістю розпізнавання обличчя, аналізом поведінки. 5G зв'язок дає змогу підтримувати щільну насиченість пристроїв, що відкриває шлях до інтеграції великої кількості розумних пристроїв та датчиків. Це в свою чергу шлях до реалізації комплексної інтелектуальної інфраструктури міста. І додатково слід згадати про змогу для розвитку та поліпшенню використання інноваційних сервісів, та додатків, як віртуальна та доповнена реальність, тощо.

Після появи 5G наступним перспективним рішенням є побудова бездротової мережі з розподіленими обчисленнями. Переваги вагомими, а саме у локалізації обчислень та прийнятті рішень на місці, також скороченню залежності від мережевих зав'язків в цілому, поліпшенню конфіденційності інформації, також така ідея зменшує енергоспоживання в цілому. У комплексі з цією ідеєю дуальною технологією, як доповнення, є впровадження розумних мереж у сегменті енергетики, які були створені ще раніше.

У якості доказової бази слід навести конкретні приклади інтеграції енергоефективних технологій. У 2014-му році у місті Сан-Дієго, штат Каліфорнія, США, компанія "San Diego Gas & Electric" реалізувала проект "IntelliGrid", яка втілює систему розумного керування енергомережами з використанням бездротових технологій для отримання інформації про стан обладнання, покази енергоспоживання та інших параметрів. Це дало змогу керувати енергомережою у режимі реального часу, вчасно реагувати на збій та автоматично розподіляти ресурс енергомережі, адаптуючись під навантаження. З боку клієнтів система дозволила отримувати їм актуальну інформацію про енергоспоживання та оптимізувати його у разі потреби за рахунок розумних додатків та інтерфейсів [6].

Кроком еволюції, який потрібно було очікувати після появи 5G та інтеграції розподілених розрахунків було створення розумних 5G вишок [7]. Як результат, за короткий термін часу з'явилися розумні 5G вишки, які хоч перебувають на стадії активного розвитку, але вже успішно використовуються. Вони активно підтримують інтеграцію розумних пристроїв та інтернету речей в цілому, і як було зазначено, оброблюють інформацію за принципом обчислень на межі, активно підтримують енергоефективність за рахунок використання джерел поновлювальної енергії, допомагають створювати віртуалізацію та програмно визначати мережу, що спрощує керування, а також вже успішно інтегруються у розумні міста. Вже є приклади використання 5G та комплексу технологій для створення розумних вишок. У Південній Кореї такі компанії, як SK Telecom та LG Uplus інтегрують розумні вишки у структуру міст та автоматизації транспорту, у США компанія T-Mobile активно створює мережі 5G з розумними вишками, які спрямовані на зв'язок з розумними пристроями та перспективами запуску нових додатків та сервісів. У Європі, а саме у Німеччині, Великобританії та Франції також розгортаються мережі 5G з розумними вишками для підтримки користувацького та промислового Інтернету речей.

Цей крок дав змогу активно інтегрувати сенсори й датчики, розумні побутові пристрої, пристрої для здоров'я, автоматизувати транспорт, реалізувати системи моніторингу та відеоспостереження з алгоритмами розпізнавання обличчя та рухів, тощо. Також цей крок мав активний вплив на благоустрій інфраструктури міста за рахунок початку

використання розумних алгоритмів розподілу дорожнього трафіку та систем моніторингу стану мостів та будов, також реалізував розумні системи управління вуличним освітленням та багато інших ініціатив у рамках програми управління енергоресурсами.

Розвиток продовжується, і він дуже активний. Усі ці досягнення відбулися за період у 6 років, і такий темп дає змогу прогнозувати ще більшого прогресу у цій галузі.

## 2. Результати дослідження

Для розуміння перспектив реалізації теоретичних уявлень слід розглянути приклад міста, яке розташовано на приблизно однаковій географічній висоті. У місті слід виділяти три зони - зона щільної багатоповерхової міської забудови з найбільшим навантаженням на мережу, зона багатоповерхової та помірної забудови з середнім зваженим навантаженням трафіком, та третя зона - зона з нещільною забудовою, відкритими ділянками простору та з найменшим навантаженням. Найперше головне завдання - це створення покриття під певні зони.

Як зображено на рисунку 1, кожна вишка має свій радіус покриття. Ця зона може покривати та підсилювати радіус іншої.

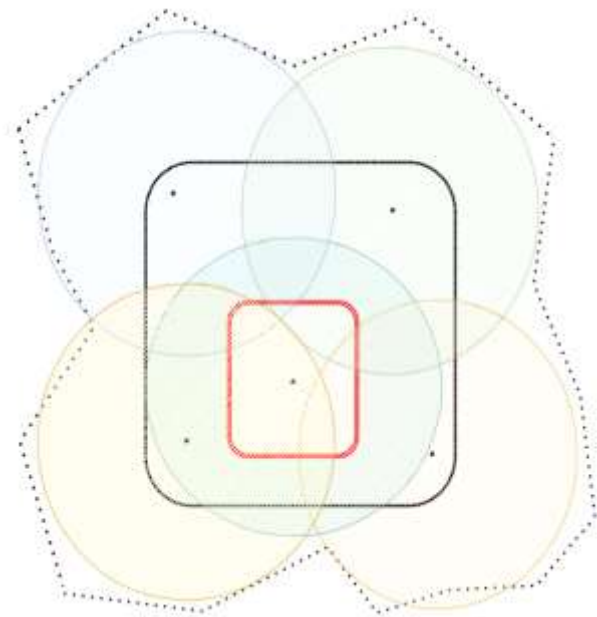


Рис. 1 – Схематичне відображення розташування вишок 5G

Визначимо це як перекриття радіусів розповсюдження сигналу. Пунктирною лінією відображено зону, яка потребує покриття, та має відкриті ділянки простору, чорною суцільною лінією відображено територію з міською забудовою та середнім навантаженням,

червоною суцільною подвійною лінією відображено територію міської забудови з найбільшим навантаженням на мережу та найбільшими факторами створення інтерференції за рахунок щільності забудови.

Вишки можуть функціонувати з використанням технології багатьох входів та виходів (MIMO - Multiple Input Multiple Output), що активно практикується [8]. Для цього встановлюють декілька антен для передачі та прийому сигналу. Таким чином одна вишка може створювати додаткове покриття для іншої, формуючи покращену якість зв'язку у певній області. Балансування навантаження також входить у перелік засобів оптимізації покриття, що означає, що вишки можуть динамічно розподіляти трафік між собою та запобігати перенавантаженню однієї з них. Слід згадати ще й про можливість ретрансляції. Сукупність технічних засобів та раніше зазначених методів боротьби з інтерференцією та ландшафтними перешкодами дає змогу забезпечити постійне надійне покриття.

Наступним кроком є позначення ролі стільникового зв'язку для реалізації LoRa. Шлюзи базових станцій можуть використовувати стільниковий зв'язок для транспортування даних на мережеві сервери. Зазвичай, таку реалізацію використовують в умовах відсутності кабельної інфраструктури.

Підсумовуючи наведене вище, у якості аргументу слід брати до уваги, що технічне рішення створення розумного міста на базі стільникового зв'язку існує і було створено ще у 2016-му році (мова йде про LTE-M), але не є перспективним для викликів майбутнього. Саме тому пропонується теоретична модель поєднання комбінації розподіленої LoRa та мережі на базі 5G. Пропозиція передбачає виділення частоти в 900 МГц зі всього спектру для реалізації технології LoRa, задля запобігання додатковій інтерференції. Датчики, за класичною схемою реалізації технології передають данні на базову станцію на шлюз, але базова станція інтегрована у вишку 5G.

Широкозагальних спроб побудови LoRaWAN-мереж у поєднанні 5G не було, технології мають різні характеристики, та цілеспрямованість, проте слід зазначити, що така ініціатива у рамках дослідження безпроводних розумних мереж з використання розумних вишок і зв'язком 5G є доволі актуальною, адже завдання створення гібридних ефективних розумних мереж є доцільним на сьогоднішній день, що підтверджено активним інтегруванням багатьох

технологій у функціональний стек. У майбутньому слід очікувати подібні дослідження, експерименти та розробку у рамках комерційних ініціатив та дослідницьких проєктів. Політехнологічні рішення, де певна технологія доповнює іншу, це вектор розвитку у питаннях побудови розумного міста з точки зору ще більшої ефективності, адже на практиці неможливо однією технологією вирішити усі потреби одразу.

Запропоноване рішення передбачає використання основних переваг 5G та LoRa. У сучасних умовах мережа LoRaWAN може бути інтегрована у розумне місто у сфері автоматизації, які не потребують постійної обробки даних у режимі реального часу і не обробляють великі обсяги даних. Це ті ж системи управління освітленням міста, системи поливу зелених зон, тощо. Ці завдання потребують невеликої кількості датчиків, порівнюючи із необхідною їх загальною кількістю, та не потребують суворого моніторингу у режимі реального часу, адже критичність швидкості певних завдань не є дуже високою. Хоч запропонована ідея є з точки зору розвитку кроком назад, але це дозволяє ще виграти у плані економії ресурсів міста. Мова йде про час обслуговування пристроїв моніторингу, адже LoRa вирізняється дуже низькою потребою у енергоживленні, що дозволяє пристроям функціонувати роками від внутрішніх автономних засобів живлення. Також слід згадати ще про щільності розташування базових станцій та ретрансляторів у порівнянні з існуючими прикладами реалізації за рахунок дуже великого радіусу передачі даних у LoRaWAN. Факт, який дозволяє потенційно ефективно поєднати дві різні технології, це успішне використання обчислень на межі у розумних вишках 5G. Це дозволить розподілити окремо на різні мережі функціонал LoRaWAN згідно радіусу покриття певної окремої вишки і вирішить наявну проблему з масштабування при реалізації LoRa.

Наступний крок еволюції наявної технічної бази, що пропонується – інтеграція штучного інтелекту із розумними вишками 5G, які пов'язані з власною мережею LoRaWAN, яка існує у зоні розповсюдження сигналу цієї вишки.

На нинішній час штучний інтелект у поєднанні з 5G розглядається, як засіб покращення якості сервісу і роботи мережі в цілому, як засобу комунікації пристроїв та користувачів. Також штучний інтелект на практиці сьогоднішнього дня використовується для обслуговування устаткування наперед та

запобіганню мережевих вузлів зі строю завчасно за рахунок прогнозування та аналізу технічних показників обладнання. Деякі корпорації вже втілюють на практиці подібні ідеї. З відомих фактів компанія AT&T використовує штучний інтелект для передбачення несправностей пристроїв у мережі, компанія Huawei створила механізми застосування штучного інтелекту для автоматичного налаштування та оптимізації 5G мереж [9], компанія Ericsson впроваджує штучний інтелект для автоматичної керування трафіком, що значно знижує операційні затрати. Ці приклади демонструють вже наявні методи взаємодії штучного інтелекту та розумних вишок 5G.

Але вектор розвитку набагато ширший. Теоретична модель передбачає зведення наявних та потенційних рішень для створення само організованого міста що самообслуговується. Розвиток штучного інтелекту невпинно веде до все ширшого застосування його для вирішення ще більш складніших завдань, ще з більш вищою надійністю, швидкістю прийняття рішень, та

операційною можливістю оброблювати та оперувати даними значно швидше і точніше, ніж людина.

Теоретична пропозиція заснована на наявних успіхах у сфері роботизації розумних міст. Вже існують ідеї та проекти із створення інтегрованих у інформаційну систему розумного міста роботів для обслуговування міського транспорту та доставки товарів [10], обслуговування інфраструктури міста, обслуговування зелених зон, допомоги у суспільних місцях, тощо. Можливості роботизації та поліпшення промисловості, побуту та інших галузей невичерпні і застосування можливо майже всюди.

Відображення теоретичної моделі наступного кроку еволюції на прикладі існуючого на сьогодні рішення показано на рисунку 2, де центральним об'єктом є розумна вишка 5G з інтегрованим штучним інтелектом, яка становить з себе локальний центр керування мережею та містом у всіх сферах його функціонування у зоні свого впливу.

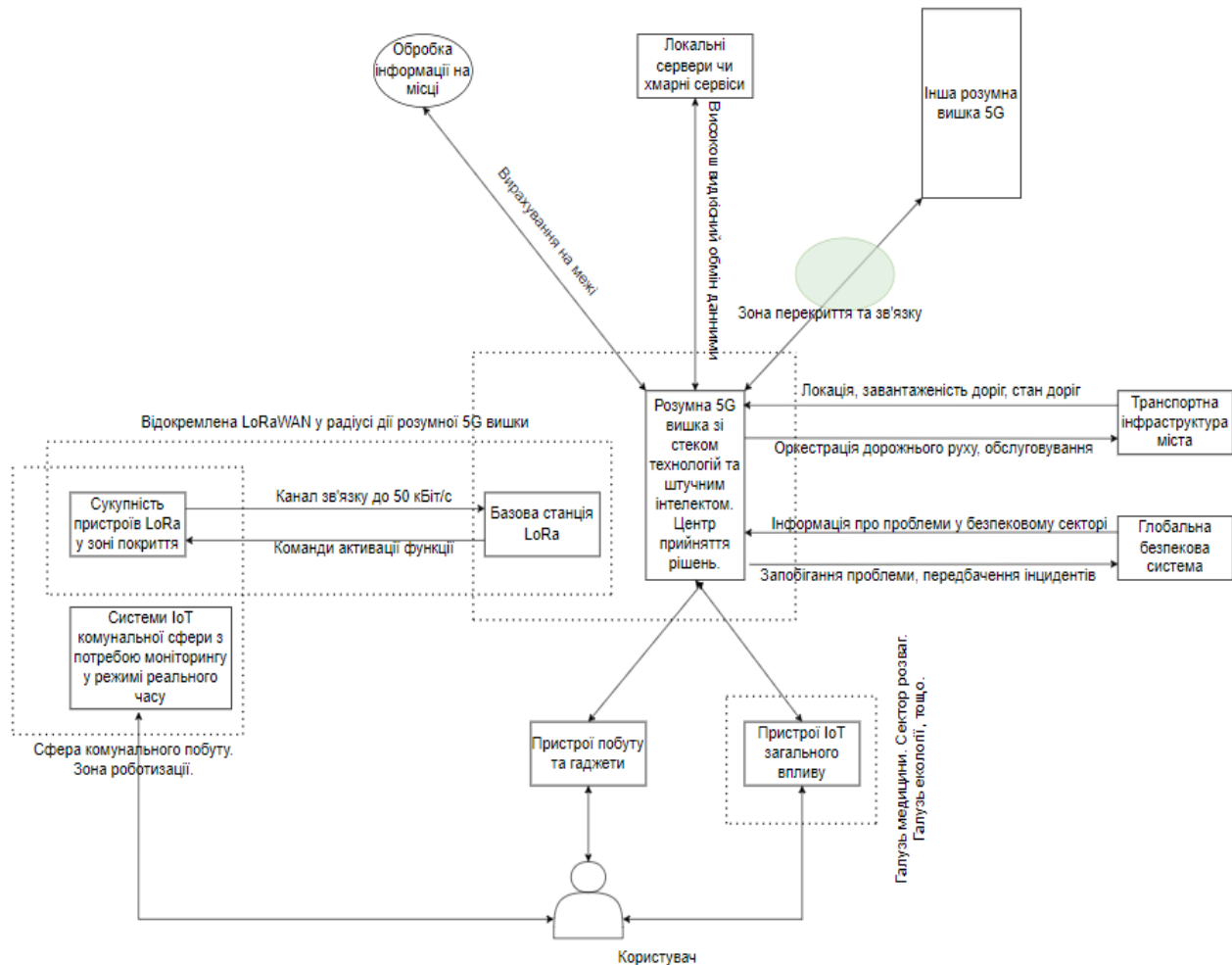


Рис. 2 - Модель взаємодії користувачів і сервісів у розумному місті.

На рисунку відображено центральний блок у вигляді розумної 5G вишки зі штучним інтелектом та інтегрованим блоком LoRa. Також відображені прямі, чи двосторонні зв'язки із структурними елементами мережі та відображені галузі, які задіяні при цих зв'язках.

Модель є універсальною для кожної з багатьох субмереж, які пов'язані одна з одною, та відображає зону впливу кожної вишки.

Структурно зображено поєднання з іншою вишкою за рахунок перекриття зон розповсюдження сигналу, що розширює зону покриття, і дає змогу обміну інформацією з іншими підмережами у разі потреби. Така модель дає можливість масштабувати мережу без обмежень шляхом відокремлення зон впливу.

Мережева архітектура може бути представлена у вигляді локалізованої субзони з розподілом взаємодії елементів у частотному діапазоні та структурними елементами зв'язку з іншими такими ж субзонами.

Реалізація моделі у перспективі наблизить R&D сектор до важливих кроків по створенню програмно-визначених, автономних та незалежних бездротових мереж з підтримкою повного спектру автоматизації в рамках користувацького, загально-соціального та промислового Інтернету речей з підтримкою максимально можливої ергономіки міста у плані часових витрат, використання природніх ресурсів, безпеки, витрат на підтримку міста, зручності побуту, а головне - створенням нових перспектив подальшого розвитку.

План додавання старих, чи нових технологій до комплексу єдиного рішення створює багатовекторність у розвитку та можливостях подальшої оптимізації використання будь-якого ресурсу, експериментів та досліджень. Багатовекторність можливостей у свою чергу, за рахунок багатосторонніх досліджень окремих технологій та їх поєднання, створює перспективу успішного пошуку найкращого шляху для реалізації проекту розумного міста та визначення базового стеку технологій, довкола якої буде вибудована трансформація у рамках прогресу.

Пропозиція доповнення існуючої діючої моделі та наближення її до представленої у дослідженні відповідає головним напрямкам розвитку розумного міста, дозволяє ефективно досягати відповідних цілей, та реалізувати багато складових загальних базових концепції створення та розвитку мереж нового покоління та індустріалізації 4.0. Штучний інтелект, який використовується в якості ядра центру прийняття рішень, дозволить робити це максимально ефективно та надійно з найменшими

операційними затратами, такими, як часові витрати та людський ресурс. Також штучний інтелект у поєднанні з розподіленими обчисленнями у мережі значно підвищують швидкість обробки даних та отримання результатів для прийняття рішень. Найближчий елемент мережі для обробки даних може бути визначений штучно, що значно зменшує залежність від потреби зберігання певного постійного обсягу інформації та скорочує протяжність мережевих зав'язків, а це також відповідає базовій концепції розумного міста.

Запропонована модель розвитку відкриває можливості для проведення подальших досліджень у напрямку вдосконалення архітектури, виконання експериментів та моделювання, інтегрування штучного інтелекту для розв'язання розосереджених комплексних завдань.

### Висновок

З появою технології 5G стався дуже вагомий технічний стрибок у сфері створення бездротових розумних мереж та розумного міста із застосуванням технології інтернету речей. У ході дослідження було проаналізовано приклади реалізації інтернету речей до появи технології 5G, зроблено їх порівняння у відповідності потребам сучасності і можливості використання в умовах сьогодення. Представлено аналітичний огляд технології 5G та факторів її переваг у порівнянні із попередніми технологіями, виділено ряд існуючих проблем та запропоновано шляхи їх вирішення за рахунок комбінації вже існуючих підходів. Розглянуто ідеї та концепції розумного міста, як проекту, наведено приклади існуючих варіантів реалізації певних проектів у окремих галузях. На базі аналізу перспектив розвитку штучного інтелекту та розумних 5G вишок зі стеком технологій висунуто теоретичну модель, яка визначає напрямки подальших досліджень. Модель описує взаємодію запропонованої комбінації технологій із модифікованого стеку для найкращого шляху розвитку проекту розумного міста.

Дослідження призвело до висновку про неможливість реалізації проекту розумного міста на базі однієї мережевої технології. З іншого боку, стек технологій з постійним розвитком кожної складової окремо може викликати проблеми у реалізації потенційних переваг їх поєднання.

Наведені практичні перспективи запропонованої моделі, приклади використання визначених підходів у технології розумного керування енергетикою.

Розглянуті технології Інтернету речей та визначені критерії підбору її складових для потреб проекту розумного міста. Вибір було зупинене на технології LoRa.

Окремо розглянута технологія 5G, додатково проаналізовано попередню технологію 4G та доведено недоцільність побудови сучасних розумних міст на базі LTE-M. Однак, LTE-M, як приклад, дає змогу пропонувати модель створення розумних міст на базі стільникового зв'язку наступного покоління. Проаналізовано спектр частот 5G та LoRa, та запропоновано поєднання технологій у стек шляхом інтеграції базової станції у вишку з резервуванням частотного діапазону в 900 МГц під взаємодію пристроїв внутрішньої мережі LoRaWAN.

Запропонована модель дає можливість визначити напрями подальших досліджень для вдосконалення наведеної архітектури, виконання експериментів та моделювання.

Інтегрування штучного інтелекту для розв'язання розосереджених комплексних завдань управління розумним містом є перспективним напрямом вирішення глобальних потреб проекту.

У подальшому дослідженні можливий більш детальний огляд компонентів моделі та виконання експериментальних досліджень у поєднанні певних технологій із запропонованого стеку, їх втілення у рамках певної окремої галузі.

### Список використаної літератури

1. Огляд технології LoRaWAN [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.atiko.com.ua/ru/articles/obzor-tekhnologii-lorawan/>
2. Яка технологія лежить у основі частот LoRa? [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.mokosmart.com/ru/lora-frequency/>
3. Характеристики та можливості LTE CAT M1 [Електронний ресурс], режим доступу: <http://surl.li/unjex>
4. Частоти для мереж 5G [Електронний ресурс], режим доступу: <https://x.ua/p/chastoty-dlia-setei-5g-vot-cto-ob-etom-nuzhno-znat-62615>
5. Частоти для мереж 5G [Електронний ресурс], режим доступу: <https://mediasat.info/ru/2021/01/12/5g-frequency/>
6. IntelliGrid [Electronic Resource], access mode: [http://seniordesignlab.com/sdl\\_docs/Proj\\_Fall\\_14/Proposals/IntelliGrid\\_Proposal.pdf](http://seniordesignlab.com/sdl_docs/Proj_Fall_14/Proposals/IntelliGrid_Proposal.pdf)
7. 5G smart towers [Electronic Resource], access mode: <https://parans.com/parans-technologies/5g-smart-tower/>
8. 5G massive MIMO [Electronic Resource], access mode: <https://shalaginov.com/2022/02/11/5g-massive-mimo/>
9. Huawei uses AI to accelerate network intelligence [Electronic Resource], access mode: <https://www.rcrwireless.com/20240418/ai-ml/huawei-uses-ai-accelerate-network-intelligence>
10. Highly automated robotic vehicles for the smart city [Electronic Resource], access mode: <https://www.polis-mobility.com/magazine/articles/highly-automated-robotic-vehicles-for-the-smart-city.php>

### References list

1. Ogljad tehnologii LoRaWAN [Electronic Resource], access mode: <https://www.atiko.com.ua/ru/articles/obzor-tekhnologii-lorawan/>
2. Yaka tehnologiya legit v osnovi chastot LoRa? [Electronic Resource], access mode: <https://www.mokosmart.com/ru/lora-frequency/>
3. Harakteristiki ta mozhlivosti LTE CAT M1 [Electronic Resource], access mode: <http://surl.li/unjex>
4. Chastoty dlia merezh 5G [Electronic Resource], access mode: <https://x.ua/p/chastoty-dlia-setei-5g-vot-cto-ob-etom-nuzhno-znat-62615>
5. Chastoty dlia merezh 5G [Electronic Resource], access mode: <https://mediasat.info/ru/2021/01/12/5g-frequency/>
6. IntelliGrid [Electronic Resource], access mode: [http://seniordesignlab.com/sdl\\_docs/Proj\\_Fall\\_14/Proposals/IntelliGrid\\_Proposal.pdf](http://seniordesignlab.com/sdl_docs/Proj_Fall_14/Proposals/IntelliGrid_Proposal.pdf)
7. 5G smart towers [Electronic Resource], access mode: <https://parans.com/parans-technologies/5g-smart-tower/>
8. 5G massive MIMO [Electronic Resource], access mode: <https://shalaginov.com/2022/02/11/5g-massive-mimo/>
9. Huawei uses AI to accelerate network intelligence [Electronic Resource], access mode: <https://www.rcrwireless.com/20240418/ai-ml/huawei-uses-ai-accelerate-network-intelligence>
10. Highly automated robotic vehicles for the smart city [Electronic Resource], access mode: <https://www.polis-mobility.com/magazine/articles/highly-automated-robotic-vehicles-for-the-smart-city.php>

## ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND THE FURTHER DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE SMART CITY PROJECT IMPLEMENTATION

**Y. G. Birka, O. V. Streltsov**  
*Odessa Polytechnic National University*

**Abstract:** *In the opinion of the authors, the model of implementation of the smart city project proposed in the work is a promising solution in the future and is presented in the form of a theory of development. The presented model is theoretical and offers a solution to many existing problems in the implementation of the smart city project at the expense of a comprehensive single solution by reducing existing technologies to a harmonious combination. The stack of technologies was assembled according to the principle of strengthening the advantages of the smart city project, and a list of means of combating the disadvantages of the technologies itself is given. The paper proposes a theory of future development and proposes a model that corresponds to the main concepts of industrialization 4.0 and the new generation network.*

**Keywords:** *Internet of Things, 5G, smart city, wireless network, edge computing, LoRa, artificial intelligence*

Отримано 26.08.2024



**Бірка Євген Геннадійович**, Національний університет «Одеська політехніка» аспірант. Просп. Шевченка, 1, Одеса, Україна,  
E-mail: rariwe@gmail.com, тел. +38-096-867-35-44

**Yevhen Birka**, Odesa Polytechnic National University, graduate student,  
Shevchenko ave., 1, Odesa, Ukraine,  
E-mail: rariwe@gmail.com, ph. +38-096-8673544

**ORCID:** <http://orcid.org/0009-0008-4669-493X>



**Стрельцов Олег Васильович**, Національний університет «Одеська політехніка» кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем. Просп. Шевченка, 1, Одеса, Україна,  
E-mail: streltsov.o.v@op.edu.ua, тел. +38-048-7058473

**Oleh Streltsov**, Odesa Polytechnic National University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of the Computer Systems Department, Shevchenko ave., 1, Odesa, Ukraine,  
E-mail: streltsov.o.v@op.edu.ua, ph. +38-048-705-84-73

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4691-5703>