**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут телекомунікаційних систем**

**Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«___»_____2021 р.

# Дипломна робота

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-комунікаційні технології»**

**спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: «Удосконалення архітектури системи «розумний будинок», побудованої на основі IoT»**

Виконав:
студент IV курсу, групи ТІ-71
Хижняк Олексій Павлович _____

Керівник:
Доцент кафедри ІТМ, к.т.н, доцент,
Правило Валерій Володимирович _____

Рецензент:
Доцент кафедри ТК, к.т.н, доцент,
Явіся Валерій Сергійович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України**
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**
**Інститут телекомунікаційних систем**
**Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-комунікаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Лариса ГЛОБА
«___»_____2021 р.

**ЗАВДАННЯ**
**на дипломну роботу студенту**
**Хижняку Олексію Павловичу**

1. Тема роботи «Удосконалення архітектури системи «розумний будинок», побудованої на основі IoT», керівник роботи Правило Валерій Володимирович, доцент кафедри ІТМ ІТС, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «14» квітня 2021 р. № 1007-с.
2. Термін подання студентом роботи 7 червня 2021 р.
3. Зміст роботи
    1. IoT. Розгляд систем розумного будинку на основі технологій інтернету речей.
    2. Аналіз стандартної архітектури розумного будинку, як вона будується та її види.
    3. Удосконалення архітектури поєднанням технологій для покращення показників.
4. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

4.1 Тема роботи

4.2 Актуальність

4.3 Об’єкт та предмет дослідження

4.4 Мета та проблема дослідження

4.5 Задачі, які виконувались

4.6 Аналіз систем розумного будинку

4.7 Побудова розумного будинку за допомогою використання нових технологій зв'язку

4.8 Висновки

4.9 Публікації

5. Дата видачі завдання 05.09.2020

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1. | Отримання завдання | 05.09.2020 | виконано |
| 2. | Збір інформації | 01.01.2021 | виконано |
| 3. | Розгляд технології Internet of Things | 15.02.2021 | виконано |
| 4. | Розгляд та аналіз архітектури Internet of Things | 01.03.2021 | виконано |
| 5. | Поглиблене вивчення проблем у мережі Internet of Things | 14.03.2021 | виконано |
| 6. | Представлення вдосконалених методів, написання рекомендацій та пропозицій із забезпечення 5G мереж у сфері Internet of Things | 15.04.2021 | виконано |
| 7. | Оформлення дипломної роботи | 25.05.2021 | виконано |
| 8. | Отримання допуску до захисту | 01.06.2021 | виконано |

Студент Олексій ХИЖНЯК

Керівник Валерій ПРАВИЛО

# РЕФЕРАТ

Дипломна робота «Удосконалення архітектури системи «розумний будинок», побудованої на основі IoT» складається з переліку умовних скорочень, вступу, основної частини, що містить 3 розділи, висновків і списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи – 67 сторінок. Робота містить 19 рисунків та 3 таблиці.

У дипломній роботі проводиться аналіз та синтез технологій для удосконалення взаємодії пристроїв розумного будинку та загалом основних показників які характеризують систему. Проведено дослідження технологій, та їх порівняння, де вони використовуються та для чого. Створено оптимальнішу модель розумного будинку.

Ключові слова: IoT, Smart House, 5G, пропускна здатність, п’яте покоління мобільного зв’язку.

# ABSTRACT

Thesis "Improvement of the architecture of the system" smart home ", built on the basis of IoT" consists of a list of abbreviations, introduction, main part, containing 3 sections, conclusions and a list of sources used. The total volume of the work is 67 pages. The work contains 19 figures and 3 tables.

The thesis analyzes and synthesizes technologies to improve the interaction of smart home devices and in general the main indicators that characterize the system. A study of technologies and their comparison, where they are used and why. A more optimal model of a smart home has been created.

Keywords: IoT, Smart House, 5G, bandwidth, fifth generation of mobile technologies.

# ЗМІСТ

ВСТУП.....10
РОЗДІЛ 1.....12
IoT. РОЗГЛЯД СИСТЕМ РОЗУМНОГО БУДИНКУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....12
1.1. Сучасна ситуація в області інтернету речей.....12
1.2. Еволюція в IoT.....14
1.3. Сфери застосування IoT.....16
Висновки.....30
РОЗДІЛ 2.....31
АНАЛІЗ СТАНДАРТНОЇ АРХІТЕКТУРИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ, ЯК ВОНА БУДУЄТЬСЯ ТА ЇЇ ВИДИ.....31
2.1. Архітектура IoT та таксономія.....31
2.2. Зусилля щодо стандартизації.....34
2.3. Різновиди систем управління розумним будинком.....37
Висновки.....47
РОЗДІЛ 3.....48
УДОСКОНАЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ПОЄДНАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ.....48
3.1. Локальні мережі 5G можуть замінити звичний стандарт бездротового зв'язку.....48
3.2. Технології які можуть забезпечити прорив у IoT.....50
3.3. Удосконаленя архітектури «Smart House» технологією 5G .....52
Висновки.....61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....64

# ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

| | |
|---|---|
| **IoT** | (Internet of Things) - Інтернет речей; |
| **ІКТ** | Інформаційно-комунікаційні технології; |
| **M2M** | (machine-to-machine communication) – міжмашинні взаємодії; |
| **M2H** | (machine-to-human communication) - зв'язок від машини до людини; |
| **PDA** | (Personal Digital Assistant) - кишеньковий персональний комп'ютер (КПК); |
| **MEC** | (multi-access edge computing) - мультидоступні обчислювальні технології; |
| **ICT** | (Information and Communication Technology) - Інформаційно-комунікаційні технології; |
| **SIoT** | (Social Internet of Things) - Соціальний Інтернет Речей; |
| **IIoT** | (Industrial Internet of Things) - Промисловий Інтернет речей; |
| **TCP** | (Transmission Control Protocol) - Протокол Управління Передачею; |
| **IP** | (Internet Protocol) – Інтернет протокол; |
| **WE** | (Wearable electronics) – переносна електроніка, гаджети які можна переносити (носити) з собою, наприклад розумні годинники; |
| **ПЗ** | програмне забезпечення; |
| **LPWAN** | (Low-power Wide-area Network) - енергоефективна мережа далекого радіусу дії; |
| **Li-Fi** | Li-Fi (Light Fidelity) — Плазмовий інтернет; |
| **SH** | (Smart House) – розумний будинок; |
| **GIS** | (Geographic Information System) - геоінформаційна система; |
| **RFID** | (Radio Frequency IDentification) - Ідентифікація радіочастот |
| **LoRa** | (Long Range) – далекобійність; |
| **PLC** | (Power-Line Communication) - Зв'язок по електромережі; |
| **BLE** | (Bluetooth Low Energy) - Бездротова технологія Bluetooth з низьким енергоспоживанням |
| **DoS** | (Denial of Service ) - відмова в обслуговуванні; |
| **WBAN** | (Wireless Body Area Networks) - бездротова натільна комп'ютерна мережа; |

**LR-WPAN** (Low-Rate Wireless Personal Area Network) - Низькошвидкісна бездротова персональна мережа;

**WIoT** (Wearable IoT) – переносна (носима) електроніка Інтернету речей;

**OSI** (The Open Systems Interconnection model) - мережева модель стека (магазина) мережевих протоколів OSI / ISO.

**LTE** (Long-Term Evolution) - «довготерміновий розвиток»), маркетингова назва 4G LTE — назва мобільного протоколу передавання даних;

**6LoWPAN** (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) - стандарт взаємодії по протоколу IPv6 поверх малопотужних бездротових персональних мереж стандарту IEEE 802.15.4, а також назву робочої групи IETF, яка проектує цей стандарт;

**CoAP** (Constrained Application Protocol) - протокол прикладного рівня, призначений для т.зв. межмашинного взаємодії (Machine-to-Machine, M2M);

**MQTT** (Message Queue Telemetry Transport) - спрощений мережевий протокол, що працює на TCP/IP;

**XMPP** (Extensible Messaging and Presence Protocol) - відкритий мережевий протокол для швидкого обміну повідомленнями та інформацією про присутність між користувачами мережі Інтернет;

**DDS** (Data Design System) - Служба розподілу даних;

**AI** (Artificial intelligence) – штучний інтелект;

**RAMI 4.0** (Reference Architectural Model Industrie 4.0) - тривимірна карта, що показує, як структуровано підійти до проблеми Industrie 4.0;

**IIRA** (Industrial Internet Consortium Reference Architecture) - Довідкова архітектура промислового Інтернет-консорціуму;

**UI** (User Interface) – інтерфейс користувача, засіб зручної взаємодії користувача з інформаційною системою;

**IETF** (Internet Engineering Task Force) - відкрите міжнародне співтовариство проектувальників, учених, мережевих

| | |
|---|---|
| | операторів і провайдерів; |
| **RPL** | (Routing Protocol for Low-Power) - протокол маршрутизації для бездротових мереж з низьким енергоспоживанням; |
| **ITU** | (International Telecommunication Union) - Міжнародний союз електрозв'язку; |
| **OMG** | (Object Management Group) - некомерційна міжнародна організація у формі консорціуму; |
| **MIMO** | (Multiple Input Multiple Output) - системи зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами; |

# ВСТУП

Скільки часу людина проводить у приміщенні, будь то офіс у якому вона працює або власний будинок чи квартира – більшу частину свого життя. Лінь – це двигун прогресу. І тому почали з’являтися пристрої які поліпшують та автоматизують життя. Згодом і з’явилося поняття IoT, Smart House. IoT - це інтернет речей, мережа, яка об'єднує всі об'єкти навколо нас. Праска, автомобіль, холодильник, датчик руху - всі ці речі "спілкуються" один з одним. При цьому людина в цьому спілкуванні участі не бере, вона лише має встановити мету, але не програмує, як її досягти. Завдання системи інтернет речей - зробити життя людини комфортною. Для неї не потрібні програми, вона сама аналізує і передбачає дії користувача.

Наприклад, ви їдете додому на своєму авто. Автомобіль повідомляє дому що ви приїдете через 30 хвилин. Будинок включає опалення або кондиціонер, щоб створити комфортну температуру, дає команду духовці приготувати вечерю, а кавоварці - зварити каву. За хвилину до вашого приїзду включає світло і телевізор, де вже починається ваша улюблена передача. Холодильник, який сам замовляє продукти через інтернет - вже реальність.

Технології інтернету речей зараз особливо актуальні, тому що у період пандемії найважливіші фактори для людини це безпека та комфорт які можна зробити кращими за допомогою використання переносних датчиків для контролю стану здоров'я і самопочуття вразливих членів суспільства, дозволяючи медичним працівникам використовувати пристрої телеприсутності для спілкування і надання допомоги пацієнтам, які не можуть або яким заборонено здійснювати поїздки.

Науково-технічний прогрес не стоїть на місці і кількість пристроїв зростає, тим самим зростає і кількість підключених пристроїв до інтернету. І потрібно вирішувати проблеми які поступово з’являються, починаючи від кількості підключених пристроїв та закінчуючи такими показниками як

безпека даних та енергоефективність системи IoT. Тому в своїй дипломній роботі я розглядаю та порівнюю різні протоколи для обміну даними та аналізуючи існуючі системи розумних будинків створюю теоретично можливий варіант удосконалення системи розумного будинку за допомогою синтезу технологій які будуть розглянуті у роботі.

Таким чином, ***об'єктом досліджень*** є удосконалення існуючих архітектур систем "розумний будинок" та основними ***методами дослідження*** є аналіз та синтез.

***Предмет досліджень*** – є технологія Internet of Things (IoT).

***Мета досліджень*** – є підвищення показників та взаємодії пристроїв розумного будинку за допомогою синтезу технологій та удосконалення архітектури Smart House.

***Наукова новизна дослідження*** – аналіз застосування різних комбінацій технологій, тобто синтез, який приводить до підвищення взаємодії пристроїв розумного будинку.

# РОЗДІЛ 1
# IoT. РОЗГЛЯД СИСТЕМ РОЗУМНОГО БУДИНКУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

## 1.1. Сучасна ситуація в області інтернету речей

Успішне існування Інтернету, його доведений потенціал для задоволення повсякденних потреб людей з усіх верств суспільства і його незамінність для суспільства в цілому, разом стимулював еволюцію нинішнього Інтернету на наступний рівень, названий Інтернетом речей (IoT). Як свідки світанку революції Інтернету речей, що ми переживаємо (і будемо продовжувати робити це в найближчому майбутньому з дивовижною експоненційної швидкістю) розумна присутність і спілкування фізичних об'єктів або речей навколо нас з собою (M2M) і / або з людиною (M2H). Виникнення такої міжмережевий екосистеми в розрахунку на одну людину має колосальні масштаби з точки зору зростання ринку (певною мірою) і доведуть з більшою ефективністю підвищення якості життя. Хоча поки що рано точно визначати ступінь охоплення і довгостроковий вплив додатків IoT, особливо в таких областях, як охорона здоров'я, сільське господарство, міська та домашня / офісна автоматизація, промислове і енергетичне управління та інші. Безпосереднє застосування Інтернету речей легко уявити. Для реалізації і швидкого розвитку таких додатків IoT найважливіше значення мають офіційне створення архітектури IoT і стандартизація відповідних наборів протоколів, оскільки вони забезпечують співіснування і взаємодію пристроїв різних виробників, а також додатків. Проте, як і в будь-яких інших гучних дослідженнях області, Інтернет речей також став жертвою власного успіху, і до сих пір жодна архітектура не користується глобальним консенсусом.

У цьому розділі ми познайомимося з Інтернетом речей. Пройдемо через еволюцію Інтернету речей, розглянемо деякі популярні області застосування IoT. У цьому розділі представлений всеосяжний огляд, що складається з

наступних елементів: складові компоненти і основні зацікавлені сторони, щоб відповідати, характеристикам і ключових факторів зосередитися, дозволяючи технологіям використовувати і класифікувати кожен додаток для розуміння різних точок зору.

Еволюція в сторону 5G широко характеризується експоненційним ростом числа обчислювальних пристроїв, вбудованих в повсякденні об'єкти і зв'язані через Інтернет. Вже у 2020 році у стільникових мережах розміщено понад 50 мільярдів пристроїв в порівнянні з 12,5 мільярда пристроїв в 2010 році [1] і приблизно 28 мільярдами пристроїв за оцінками на 2017 рік [2]. Ця масова взаємодія швидкозростаючих різнорідних фізичних об'єктів технічно називається Інтернетом речей (IoT). Така мережева екосистема дозволяє підключати гетерогенні об'єкти або пристрої з обмеженими ресурсами з можливістю обміну даними через Інтернет на додаток до взаємозв'язків обчислювально ресурсномістких пристроїв, таких як комп'ютери, смартфони, КПК (PDA) і т.д. Таким чином, IoT візуалізує весь простір Інтернету як робоча зона для таких пристроїв. Іншими словами, парадигма Інтернету речей починає сприяти тому, щоб пристрої набували інтелектуальність, виконуючи всі види операцій (моніторинг, обмін, обробку, обчислення, прийняття рішень самостійно або спільно) і, відповідно, вживати необхідні дій на основі інформації, одержуваної в будь-якій точці земної кулі. Система IoT готова створити значний сплеск попиту на дані, обчислювальні ресурси, а також мережеву інфраструктуру, щоб вмістити ці міріади взаємопов'язаних пристроїв. Задоволення цих суворих вимог вимагає відповідних імпровізацій існуючої мережевої інфраструктури, а також комп'ютерних технологій; Однією з таких модифікацій є прикордонні обчислення з множинним доступом (MEC), раніше відомі як мобільні прикордонні обчислення [3]. Аналогічно, IoT можна розглядати як сенсорну і нервову систему майбутніх інформаційних і комунікаційних технологій (ICT), в той час як вроджені можливості мозку зі зберігання, обробки і прийняття рішень будуть забезпечені такими технологіями, як хмарні обчислення, мобільні технології,

паралельні обчислення, а також науки аналітики великих даних, штучного інтелекту, машинного навчання і т. д. Запорукою успіху є забезпечення синергізму між цими технологіями.

## 1.2. Еволюція в IoT

Спочатку комп'ютерні мережі виникли з метою економічного і ефективного спільного використання (або доступу) дефіцитних і дорогих (обчислювальних) ресурсів. Незабаром розробка пакетів протоколів TCP / IP дала поштовх розвитку і привела до появи глобального мережевого засобу, відомого як Інтернет. З тих пір Інтернет стрімко розвинувся і успішно існує кілька десятиліть. Роки зрілості сучасного Інтернету і розвитку відповідних базових технологій проклали шлях до появи IoT. Як показано в [4], еволюція Інтернету складається з п'яти етапів (Рисунок 1.1). Початковий етап був пов'язаний з з'єднанням комп'ютерів разом, потім послідував другий етап, який призвів до появи Всесвітньої павутини, яка об'єднала велику кількість комп'ютерів в мережу. Потім з'явився мобільний Інтернет, який дозволив мобільним пристроям підключатися до Інтернету, а пізніше люди також вступили в силу і приєдналися до Інтернету через соціальні мережі. Нарешті, нинішня фаза сприяє появі Інтернету речей, який передбачає підключення повсякденних фізичних об'єктів до Інтернету.

Подібно Інтернету, у IoT теж є свій шлях - це кульмінація конвергенції різних концепцій, таких як орієнтація на речі, орієнтація на Інтернет і орієнтованість на семантику. Згідно з визначенням в [5], IoT дозволяє людям і речам бути підключеними в будь-який час, в будь-якому місці, з чим завгодно і з ким завгодно, в ідеалі з використанням будь-якого шляху або мережі і будь-якої служби.

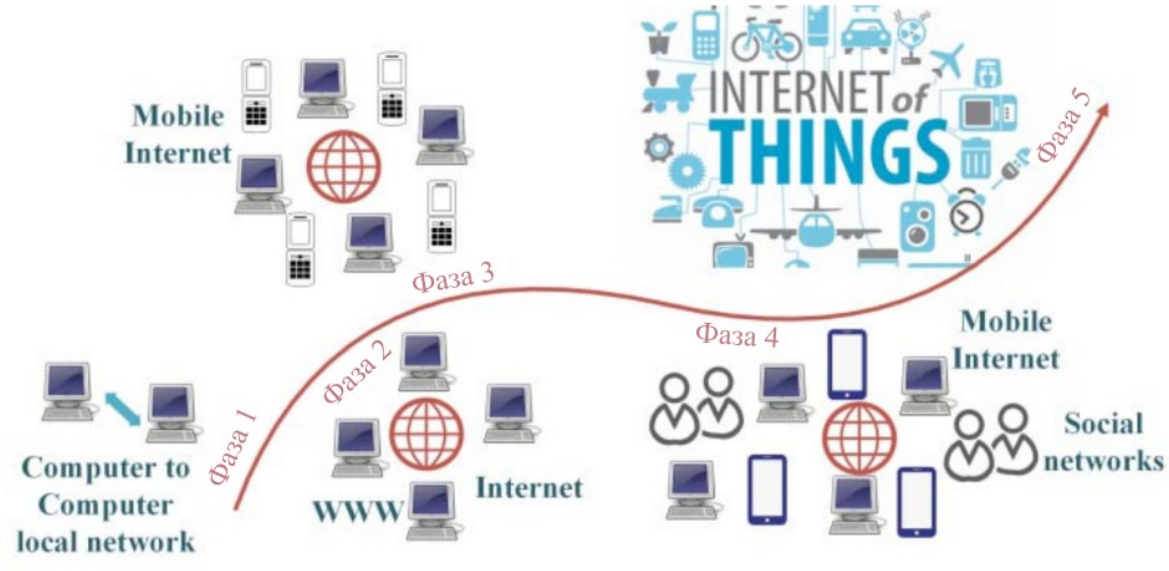


Рис. 1.1. Еволюція в IoT.

Існують наукові докази того, що велика кількість осіб, пов’язаних у соціальній мережі, може надати набагато точніші відповіді на складні проблеми, ніж окрема особа (або невелика група - навіть обізнаних - осіб). Цей принцип широко використовувався в різних доменах, пов'язаних з Інтернетом, і в останні роки досліджувався щодо впровадження систем IoT, які, як очікується, інтегруватимуть велику кількість технологій і з'єднатимуть десятки мільярдів об'єктів за короткий час (термін).

Соціальний Інтернет речей (SIoT) визначається як IoT, де речі здатні встановлювати соціальні відносини з іншими об'єктами, автономно по відношенню до людей. Таким чином створюється соціальна мережа об’єктів. Прийняття парадигми SIoT має ряд переваг:

- результуюча структура соціальної мережі речей може бути сформована відповідно до вимог, що гарантують навігацію мережею, щоб ефективно виконувати виявлення об'єктів та послуг та гарантувати масштабованість, як у соціальних мережах людини;
- рівень надійності може бути встановлений для підвищення ступеня взаємодії між речами, які є друзями;

- моделі, призначені для вивчення соціальних мереж, можуть бути використані повторно для вирішення проблем, пов'язаних з IoT (невід'ємно пов'язані з розгалуженими мережами взаємопов'язаних об'єктів).

Ще одним важливим аспектом IoT є Промисловий Інтернет речей (IIoT), мета якого - перетворити всю існуючу систему промислового виробництва і обслуговування в інтелектуальну систему автоматизації підприємства з більш високим рівнем інтелекту і когнітивних обчислень. Це реалізується шляхом безпечного з'єднання промислових активів через Інтернет і використання відповідних технологій (наприклад, хмарних обчислень), що призводить до точного нагляду в промислових середовищах і збільшення прибутку інвестицій.

### 1.3. Сфери застосування IoT

Тепер давайте звернемо нашу увагу на різні види сфер, які можуть виграти від революції Інтернету речей. Схема типових та потенційних сфер, включаючи охорону здоров'я (наприклад, спостереження за пацієнтами і операції), інтелектуальну енергетику, інтелектуальну автомобільну промисловість (наприклад, автономні транспортні засоби), промислову автоматизацію і т. д., показана на рисунку 1.2.

Сфери IoT були класифіковані по-різному в залежності від обсягу функцій, кількості пристроїв, необхідних для розгортання в порівнянні з надійністю, рівня використання та інших показників [6], [7], [8]. Чотири рівня категорій додатків IoT [6] в порядку зростання обсягу пропонованих функцій: послуги, пов'язані з ідентифікацією, послуги агрегації інформації, послуги з підтримкою спільної роботи і повсюдні послуги.

Рис. 1.2 Класификация IoT сфер.

Послуги, пов'язані з ідентифікацією, відображають кожен фізичний об'єкт в мережевий простір (тим самим роблячи їх адресованими), а також реалізують сервіси дозволу мережі. Подібні сервіси притаманні до будь якої сфери де може використовутися Інтернет речей. Потім сервіси, які легко збирають належним чином агреговані дані від різнорідних об'єктів, щоб відправити їх на обробку, підпадають під категорію сервісів агрегування інформації.

На основі отриманих агрегованих даних служби з підтримкою спільної роботи приймають рішення і, відповідно, реакції / дії координуються до моменту спрацьовування. Нарешті, універсальні сервіси забезпечують повсюдну присутність в мережі і доступність базових сервісів, що підтримують спільну роботу, в будь-який час. Сфери IoT, розроблені для підвищення до рівня повсюдних послуг, принесуть максимальну користь,

однак для цього потрібно плавна інтеграція технологій, протоколів і стандартів.

Таблиця 1.1

Категоризація різних сфер Інтернету речей

| IoT сфера | Категорія відповідно до [6] | Категорія відповідно до [7] | Категорія відповідно до [8] |
|---|---|---|---|
| Smart Home | Collaborative aware | Massive IoT | Individual level |
| Smart City | Collaborative aware | Massive IoT | Infrastructural level |
| Smart Energy | Information aggregation | Massive IoT | Infrastructural level |
| IoT Automotive | Information aggregation | Critical IoT | All-inclusive level |
| Healthcare | Information aggregation | Massive IoT | All-inclusive level |
| Gaming, AR, VR | Information aggregation | Massive IoT | Individual level |
| Retail | Collaborative aware | Massive IoT | Organizational level |
| Wearable | Information aggregation | Massive IoT | Individual level |
| Smart Agriculture | Collaborative aware | Massive IoT | Organizational level |
| Industrial Internet | Collaborative aware | Critical IoT | Organizational level |

Серед широкого спектру варіантів використання IoT ринок рухається до двох ключових категорій, а саме до масового IoT і критично важливого IoT [7]. У масовому IoT велика кількість недорогих пристроїв з низьким енергоспоживанням зазвичай видає невеликий обсяг даних, які не пов'язані із затримкою. Пристрої повинні відправляти звіти в хмару на регулярній основі, тому їм потрібно безперешкодне підключення і хороше покриття. Області застосування масового Інтернету речей включають розумний будинок, інтелектуальний сільське господарство, управління активами і інтелектуальні вимірювання. Навпаки, критично важливі програми Інтернету речей пред'являють дуже високі вимоги до надійності, доступності та малої затримки.

Залежно від обсягу використання і адаптації відповідної IoT сфери, вони поділяються на чотири рівні додатків:

- інфраструктурний рівень;
- організаційний рівень;
- індивідуальний рівень;
- комплексний рівень;

На рівні інфраструктури такі сфери, як розумне місто, розумна енергія, розумний туризм та інші розміщуються там, де вони, в свою чергу, можуть створити новий рівень екосистеми. Промисловий Інтернет, інтелектуальне сільське господарство, роздрібна торгівля та інші відносяться до організаційного рівня, оскільки такі програми призначені для автоматизації роботи організації. Цілком очевидно, що додатки, які підпадають під категорію індивідуального рівня, включають розумний будинок, ігри, переносні пристрої (WE) і т. д. Однак є кілька сфер, які мають більш широке охоплення і можуть охоплювати всі рівні, такі як медицина і охорона здоров'я, автомобілебудування, освіту та інші, дивитися у таблиці 1.1, яка демонструє односторонню категоризацію різних сфер IoT, тоді як таблиця 1.2 показує характеристики цих вже відомих нам сфер IoT.

Таблиця 1.2

Характеристики різноманітних сфер IoT

| **IoT сфера** | **Тип даних** | **Зворотній зв'язок** | **Очікувана затримка** |
|---|---|---|---|
| Smart Home | Stream / Historical data | Realtime | 1 ms -1000 s |
| Smart City | Stream / Massive data | Realtime | ≤1ms |
| Smart Energy | Stream / Massive data | Realtime/ Intermittent | 1ms - 10 mins |
| IoT Automotive | Stream / Massive data | Realtime | ≤1ms |
| Remote surgery | Stream data | Realtime | ≤200 ms |
| Remote consultancy | Stream data | Realtime | 1 ms-100 s |
| Gaming, AR, VR | Stream / Massive data | Realtime | ≤1ms |
| Retail | Stream / Historical data | Realtime/ Intermittent | ≤1 ms |
| Wearable | Stream data | Intermittent | Several Hours |
| Smart Agriculture | Historical data | Intermittent | Several hours |
| Industrial Internet | Stream / Massive data | Realtime | ≤1 ms |
| Tactile Internet | Stream | Realtime | ≤1 ms |

**Розумний будинок**

Ідея розумного будинку полягає в тому, щоб контролювати, управляти, оптимізувати і отримувати віддалений доступ, коротше кажучи, повністю автоматизувати домашнє середовище, включаючи побутові пристрої і побутову техніку, з мінімізацією людських зусиль.

По суті, концепція Інтернету речей обіцяє надати таку необхідну базову екосистему, яка підтримує просте виконання додатків для розумного будинку.

Розумний будинок на основі Інтернету речей використовує як локальні (але обмежені) пристрої зберігання і обробки (наприклад, шлюз або концентратор), так і хмарну інфраструктуру [9, 10]. Очікується, що зі збільшенням периферійних обчислень продуктивність значно покращиться, оскільки операції не вимагають великих обчислювальних ресурсів. Очевидно, що досягнутий виграш буде полягати в затримках, балансуванню навантаження, скорочення трафіку і прогресивному використанні ресурсів.

Розумний будинок іноді розглядається як продовження концепції розумних мереж [9]. З цієї точки зору, основна мета розумного будинку - оптимізувати споживання енергії з урахуванням різних факторів, таких як характер використання і присутність жителів в режимі реального часу, зовнішнє середовище (наприклад, погодні умови), час доби, балансові одиниці попереднього-оплачений рахунок за електроенергію і т.д.

Основні зацікавлені сторони розумного будинку показані на рисунку 1.3. Крім того, основними компонентами, складовими для розумного будинку, є інтелектуальні системи безпеки і спостереження, інтелектуальні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, саморегулююче і інтелектуальне налаштування середовища на основі профілю користувача, інтелектуальне управління енергією та інтелектуальна відстежуваність об’єктів за допомогою GIS, що працює на основі Інтернету речей. Проблеми, пов'язані з розумним будинком - це висока конфіденційність і безпека, висока надійність, висока функціональна сумісність, сильна адаптація до бездротового середовища, схильність до багатопроменевих помилок, хмарні обчислення та інші.

Рис. 1.3 Зацікавлені сторони розумного домашнього середовища.

Безсумнівно, повна реалізація програми для розумного будинку з підтримкою Інтернету речей має величезний потенціал для поліпшення досвіду особистого життя.

Отже підсумовуючи, «Розумний будинок» – це можливість поглянути на побутову техніку з новим виглядом. Система надає можливість розширити свій функціонал. Це мережа, яка використовує одну програму для всіх пристроїв, що дозволяє контролювати будинок і контролювати роботу пристроїв. «Розумний дім» має плюси і мінуси, які можуть зіграти важливу роль в установці системи, давайте розглянемо їх.

Як і інші пристрої, система Розумного будинку має переваги, заради яких вона повинна бути встановлена. Серед них:

- Безпека. Система має повний контроль над приміщеннями. Якщо буде здійснено незапланований доступ, він надішле сповіщення. У разі виникнення надзвичайної ситуації «Розумний будинок» намагатиметься

запобігти їм, в тому числі і виникненню пожеж. Вона дозволяє спостерігати за тим, що відбувається в будинку з будь-якої точки світу.

- Простий у використанні. Вся система управляється одним пристроєм. Найчастіше це мобільні телефони.
- Гнучкі налаштування. Система дозволяє регулювати пристрої під себе, змінювати їх функції. Ви також можете додати до нього інші пристрої в будь-який час.
- Економія. Розумний будинок зменшує комунальні платежі. Це тому, що система вимикає пристрої, які наразі не використовуються. Відповідно, знижується навантаження на мережу, а разом з нею і споживання електроенергії. Економія на освітленні може досягати 40%, а на опаленні 30%.
- автоматизація. Більшість предметів побуту можна підключити до Розумного дому. Відповідно, це дає можливість контролювати їх автоматично. Це економить багато часу.
- Дизайн. Всі елементи системи (кнопки, терморегулятори, датчики, розетки, вимикачі) виглядають сучасно і стильно вписуються в будь-який інтер'єр.

«Розумний будинок» також має недоліки. До них відносяться:

- Ціна. Незважаючи на те, що система приладів в основному складається з їх примітивних датчиків, камер, датчиків, її вартість дуже висока. На оплату «Розумного дому» потрібно щонайменше п'ять років.
- Обслуговування. Як і будь-яка інша техніка, система може зламатися. В цьому випадку проблему можуть вирішити тільки досвідчені інсталятори, яких ще не дуже легко знайти. Крім того, вихід з ладу однієї частини може відключити ланцюжок інших пристроїв.
- Встановлення. Система провідна, тому встановлювати її слід або відразу під час ремонту, або робити це під нею.

**Розумне місто**

Багато країн вже приступили до реалізації свого плану проектів розумних міст, включаючи Німеччину, США, Бельгію, Бразилію, Італію, Саудівську Аравію, Іспанію, Сербію, Велику Британію, Фінляндію, Швецію, Китай та Індію [11, 12]. Ця тенденція вказує на підйом IoT від зародження до стану розквіту. Як показано на рисунку 1.4, одними з основних компонентів розумного міста, заснованого на IoT, є розумне медичне обслуговування, розумна мобільність і управління трафіком, розумна промисловість, розумний розвиток інфраструктури, розумна комутація, розумне спостереження і розумне управління комунальними послугами.

Рис. 1.4 Використання Інтернету речей в розумних містах.

Фактори, які заслуговують порівняно більшої уваги при розробці розумного міста на основі Інтернету речей це:

- ✓ висока масштабованість;
- ✓ низька затримка;
- ✓ висока надійність;
- ✓ висока доступність;
- ✓ висока безпека;

Залежно від специфіки послуг, пропонованих в рамках проектів розумного міста, можна використовувати підмножину технологій, показаних на таблиці 1.3. Як правило, для зв'язку на малих відстанях використовуються технології RFID, ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi та інші. Однак для забезпечення широких можливостей транзитного з'єднання на великі відстані для потужних пристроїв IoT, розкиданих по місту, такі технології, як GSM, WCDMA, 3G, LTE і 5G (в найближчому майбутньому) можуть бути задіяні.

Таблиця 1.3

Зведення зусиль по стандартизації, доступних для IoT

**Протоколи додатків**

| | RESTful | Transport | Publish/ Subscribe | Request/ Response | Security | QoS | Header Size (Byte) | Organization |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| COAP | √ | UDP | √ | √ | DTLS | √ | 4 | IETF |
| MQTT | X | TCP | √ | X | SSL | √ | 2 | OASIS |
| MQTT-SN | X | UDP | √ | X | SSL | √ | 2 | OASIS |
| XMPP | X | TCP | √ | √ | SSL | X | - | IETF |
| AMQP | X | TCP | √ | X | SSL | √ | 8 | OASIS |
| DDS | X | TCP UDP | √ | X | SSL DTLS | √ | - | OMG |
| HTTP | √ | TCP | X | √ | SSL | X | - | IETF W3C |

**Протоколи мережевого рівня та проміжного програмного забезпечення**

| | Functionality | Characteristics | Organization |
|---|---|---|---|
| mDNS | Service discovery | Zero configuration. Uses IP multicast UDP packets.Run with no or less infrastructure | IETF |
| DNS-SD | Service discovery | Utilizes mDNS. Zero configuration. Wide area service discovery by clients. | IETF |
| RPL | Routing | Distance vector protocol. DODAG topology. | IETF |
| 6LoWPAN | Encapsulation | Adaptation layer for IPv6 . Header compression. Fragmentation. | IETF |
| 6TiSCH | Encapsulation | Low-power operations for IPv6 over IEEE802.15.4e TSCH mode. Industrial IoT. | IETF |

**Протоколи фізичного рівня**

| | Spreading Technique | Radio Band (MHz) | MAC Access | Data Rate (bps) | Scalability | Organization | Range |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IEEE 802.15.4 | DSSS | 868/915/2400 | TDMA, CSMA/ CA | 20/40/250K | 65K nodes | IEEE | 10 m-100m |
| BLE | FHSS | 2400 | TDMA | 1024K | 5971slaves | Bluetooth group | < 100m |
| EPCglobal | DS-CDMA | 860~960 | ALOHA | Varies5~640K | - | EPCglobal | < 50 m |
| LTE-A | Multiple CC | varies | OFDMA | 1G (up), 500M (down) | - | 3GPP | < 100km |
| Z-Wave | - | 868/908/2400 | CSMA/CA | 40K | 232nodes | Sigma Designs | 30 m (Indoor) & 100m (Outdoor) |
| LoRa | LoRa (CSS) | 0.125-0.25 | Unslotted ALOHA | 0.3K to 50K | Upto millions | LoRa Alliance | < 15 km |
| Sigfox | BPSK | 0.1 | Unslotted ALOHA | 100or 600 | Upto millions | SNO | 30 km – 50 km (Rural) & 10 km (Urban) |
| NB-IoT | QPSK | 0.18 | FDMA/OFDMA | 20K(up) 250K(down) | 50K | 3GPP | < 35 km |
| Insteon | - | 904 | TDMA + simulcas | 38.4k | 256 | Smartlabs | < 45 m |

**Розумна енергія**

Якщо коротко, завданнями, що стоять перед енергетичним сектором, є виробництво електроенергії у джерела, передача електроенергії по високовольтних лініях від джерела до підстанцій (зазвичай розташованих поблизу точки високого попиту), розподіл кінцевим споживачам, виставлення рахунків в заздалегідь певний період часу, а також цілодобовий моніторинг і обслуговування, включаючи виявлення та усунення несправностей. У цій сфері раннє використання IoT досить помітно, оскільки вже розгорнуті багатоцільові інтелектуальні лічильники і інтелектуальні термостати. Продовжуючи набирати обертів, Інтернет речей відіграє важливу роль як з точки зору постачальника комунальних послуг, так і з точки зору споживача.

Рис. 1.5 Компоненти Smart Energy System (Інтелектуальної Енергетичної Системи).

Основними компонентами інтелектуальної енергії, керованої IoT, як показано на рисунку 1.5, є інтелектуальне виробництво енергії, включаючи поновлювані джерела енергії (можна розглядати як приклад програми IIoT), інтелектуальне обслуговування, що включає ранню діагностику збоїв на основі прогнозування і подальше випереджаюче виправлення

інтелектуальний доступ до використання в режимі реального часу для оптимізації споживання і виставлення рахунків, інтелектуальне нарощування потенціалу на основі висновків, зроблених на основі аналізу даних, застосованого до величезних даними, зібраними від користувачів. Більш того, головними факторами, які слід враховувати в контексті інтелектуального енергетичного додатка на основі Інтернету речей, є:

- висока (само) стійкість
- висока відмовостійкість
- висока безпека
- високий рівень оптимізації.

В основі перспективних технологій для IoT, які мають потенціал для управління в сфері інтелектуальної енергетики, є LoRa, SigFox, Power-Line Communication (PLC), IEEE 802.15.4, Z-Wave і т. д. [13].

**Охорона здоров’я**

Передбачається, що медичні програми, засновані на IoT, будуть масово впроваджуватися, і передбачається, що до 2025 року вони захоплять найбільшу частину майбутнього ринку IoT. Інтернет речей має вбудовані можливості для підтримки всіх видів медичного обслуговування; профілактичну, діагностичну, лікувальну та реабілітаційне охорону здоров'я. Цікаво, що, з одного боку, сектор охорони здоров'я вимагає парадигми Інтернету речей, щоб дати живим істотам рішення, які можуть відстежувати різні фізіологічні параметри, виявляти симптоми і тим самим (на ранній стадії) діагностувати, пропонувати профілактичні заходи і поступово адаптувати лікування на основі підходів штучного інтелекту та машинного навчання. З іншого боку, медичний Інтернет речей може допомогти фармацевтичним компаніям розробляти і розробляти нові ліки на основі аналізу даних, отриманих за допомогою Інтернету речей, згенерованих великими даними про недавні пацієнтах, і при необхідності приймати відповідні заходи.

Рис. 1.6 Роль IoT у розумній охороні здоров’я.

Рисунок 1.6 дає уявлення про роль Інтернету речей в сфері охорони здоров'я. Різні організації, які можуть прямо або побічно отримати вигоду від застосування IoT в охороні здоров'я, - це пацієнти, лікарі, допоміжний персонал (наприклад, медсестри і техніки), лікарні, медичні страхові компанії і фармацевтична промисловість. Медичні пристрої IoT, такі як розумні годинник, браслети, взуття, одяг і т. Д, Можуть визначати і передавати в режимі реального часу життєво важливі ознаки госпіталізованого пацієнта віддалено лікаря, який, при необхідності, може проінструктувати медсестру вжити заходів у разі термінового випадку. Можна уявити собі безліч основних компонентів медичних програм IoT, деякі з них це:

- інтелектуальний віддалений моніторинг здоров'я, інтелектуальне управління активами для лікарень;
- інтелектуальна оптимізація медичних запасів на основі аналізу даних охорони здоров'я в реальному часі;

- інтелектуальна взаємодія пацієнта і лікаря (телеметрія);
- інтелектуальне розширене лікування та операції і так далі.

Варто зазначити, що фактори, які мають першорядне значення при розробці рішень Інтернету речей для сфери охорони здоров'я - це надвисока безпека, надвисока точність, висока надійність, висока конфіденційність і низьке енергоспоживання. У цій області значну роль можуть зіграти різні технології: BLE, WBAN (IEEE 802.15.6), LR-WPAN (IEEE 802.15.4) і NB-IoT [14].

**Інтернет речей в автомобільній промисловості**

За оптимістичними оцінками, до 2040 року 90% від загального обсягу продажів транспортних засобів будуть або високоавтоматизованими (рівень - 4), або повністю автоматизованими (рівень - 5) транспортними засобами [15]. У цьому напрямку працюють багато компаній, наприклад Tesla, Google, BMW, Ford, Uber і інші. Інтернет речей в поєднанні з хмарними обчисленнями і мобільними периферійними обчисленнями (MEC) буде відігравати значну роль в реалізації підключених і автономних транспортних засобів (також відомих як безпілотні, безпілотні або роботизовані транспортні засоби) в найближчому майбутньому. Транспортні засоби, поступово досягають більш високих рівнів автономії, можуть мати в цілому послідовників в якості своїх основних компонентів; інтелектуальна оптимізація та технічне обслуговування, які повинні виконуватися самим транспортним засобом або віддалено власником, інтелектуальні системи безпеки і безпеки, інтелектуальна щоб зробити режим користувача на основі навколишнього середовища, інтелектуальна навігація і т. д. Сьогодні в одному транспортному засобі вбудовано приблизно від 60 до 100 датчиків, і незабаром їх кількість зросте до 200. Ця тенденція узгоджується з фундаментальною передумовою для транспортних засобів з підтримкою IoT, а саме - наявністю в достатку всіляких датчиків. Таким чином, очікується адаптація Інтернету речей в автомобільній промисловості. Різні основні

технології автомобільного зв'язку - це Bluetooth, ZigBee, виділений короткодіапазонний зв’язок (DSRC), Wi-Fi та 4G та 5G стільникова технологія.

Однак, згідно з [16], життєво важливими факторами, які необхідно вирішити, є безшовне з'єднання останньої милі в реальному часі, коли транспортний засіб знаходиться в русі, висока пропускна здатність, низьке енергоспоживання, висока конфіденційність і мінімізація проблеми роумінгу, що, в свою чергу , зводить до мінімуму пов'язані з цим наслідки, такі як збільшення затримки і коливання цін на домашні та закордонні мережеві провайдери.

Більш того, дрони або БПЛА (безпілотні літальні апарати), що виступають в ролі сенсорних пристроїв, відкривають можливості для великої кількості додатків IoT в багатьох областях, таких як сільське господарство, гірничодобувна промисловість, громадська безпека та служби промислового контролю.

**Переносна електроніка**

До теперішнього часу важко заперечувати той факт, що носимі пристрої і гаджети IoT (WIoT) тісно пов'язані з нашим нинішнім стилем життя. Носимі пристрої IoT, починаючи від модних пристроїв, таких як фітнес-трекери і розумні годинник, і закінчуючи модним розумним одягом і необхідними медичними пристроями, набули широкого поширення. За прогнозами, вони різко захоплять ринок і будуть стояти поруч зі смартфонами в сфері побутової електроніки [17]. Основними компонентами WIoT є:

- інтелектуальне відстеження;
- інтелектуальна інформаційно-розважальна система;
- інтелектуальний одяг;
- інтелектуальна допомога;
- інтелектуальний медичний моніторинг;

- ➢ персональна сигналізація безпеки;

Деякі з ключових чинників, які слід враховувати при проектуванні і розробці WIoT (пристрої, протоколи, додатки і т. д.), а саме:

- ✓ надвисока безпека;
- ✓ наднизьке споживанням енергії;
- ✓ високий рівень комфорту для людського тіла;
- ✓ зручність використання;
- ✓ низька затримка;
- ✓ висока обізнаність про контекст;
- ✓ висока конфіденційність;
- ✓ висока пропускна здатність.

**Висновки**

Сфера IoT дуже перспективна її можна застосовувати в багатьої сферах нашого життя. У цьому розділі представлений ясний і стислий огляд світу IoT і деяких важливих аспектів IoT, розглянуті сфери використння IoT, які відкривають двері в новий світ послуг і досвіду користувачів. Концепція Інтернету речей включає в себе існування всіх видів обмежених ресурсами різноманітних смарт-об'єктів цільового або універсального призначення, здатних до обміну даними. Таким чином, крім пошуку нових технологій, Інтернет речей, мабуть, відродив безліч забутих технологій, а також сприяв відродженню дослідницької діяльності в цих відповідних областях.

# РОЗДІЛ 2

# АНАЛІЗ СТАНДАРТНОЇ АРХІТЕКТУРИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ, ЯК ВОНА БУДУЄТЬСЯ ТА ЇЇ ВИДИ

## 2.1. Архітектура IoT та таксономія

Інтернет речей заклав основу для з'єднання мільярдів і трильйонів об'єктів через Інтернет, і очікується, що це число буде зростати безпрецедентними темпами. За оптимістичними оцінками, кількість пристроїв IoT досягне 75,44 мільярда до кінця 2025 року, і, крім того, до 2025 року очікується 10 інтелектуальних пристроїв на душу населення в порівнянні з двома інтелектуальними пристроями в 2015 році [12]. IoT, викликаний вимогою безшовного підключення такої величезної кількості різнорідних об'єктів, тягне за собою гнучку багаторівневу архітектуру. У цьому напрямку, незважаючи на те, що при тісній співпраці між дослідниками та промисловістю для Інтернету речей було запропоновано все більше архітектур, до сих пір жодна з них не отримала єдиної думки, і, таким чином, еталонна модель ще не затверджена. Архітектурне моделювання IoT засноване на модифікації стандарту OSI (Open Systems Interconnection) з відповідними коригуваннями рівня каналу передачі даних, мережі і транспорту.

Як обговорюється в великій кількості літератури [18, 19] IoT працює на трьох основних рівнях, званих сприйняттям, мережею і додатком, як показано на рисунку 2.1. Рівень сприйняття або «Рівень пристрої» взаємодіє з фізичними об'єктами і компонентами за допомогою інтелектуальних пристроїв, таких як RFID-мітки, датчики, виконавчі механізми і т. д. Основні обов'язки включають збір даних, обробку інформації про стан, пов'язаної зі смарт-об'єктами, і передачу необроблених даних або обробляється інформація на верхні рівні.

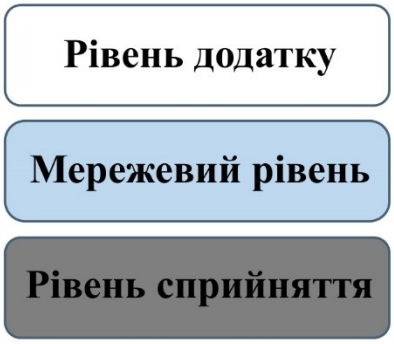


Рис. 2.1 Трирівнева архітектура [19].

Рис. 2.2 П'ятирівнева архітектура [20].

Мережевий рівень забезпечує оптимальну маршрутизацію та передачу даних за рахунок інтеграції різнорідних та розрізнених мереж за допомогою різних підключаючих пристроїв (концентратор, комутатор, шлюзи, маршрутизатори), комунікаційних технологій (Bluetooth, WiFi, оптичні волокна, Long-Term Evolution (LTE)) та протоколів (IEEE 802.15.4, 6LoWPAN, Zigbee, Z-Wave, CoAP, MQTT, XMPP, DDS). Рівень додатків надає користувачам необхідні послуги або операції через аналізовані і оброблювані дані про сприйняття. Це задовольняє сукупність соціальних і промислових вимог у багатьох областях, включаючи інтелектуальні мережі, інтелектуальний транспорт, інтелектуальні міста, електронна охорона здоров'я, послуги передачі даних і т. д.

У літературі підкреслюється використання п'ятирівневої моделі (рисунок 2.2) для подання архітектурних структур IoT [20, 19]. Якщо розглядати разом, П'ятирівневі архітектури мають багато спільних рис, проте вони вводять кілька проміжних рівнів між рівнем сприйняття і рівнем додатка. Відповідно до 5-рівневої архітектурою, описаної в [20], рівень проміжного програмного забезпечення підтримує управління послугами, приймає інформацію з мережевого рівня, обробляє інформацію, виконує повсюдні обчислення і забезпечує зв'язок з базою даних. Верхній бізнес-рівень управляє всією системою IoT, визначаючи випуск і нарахування плати за різні додатки IoT, а також ладу бізнес-моделі, графіки, блок-схеми і т. д.

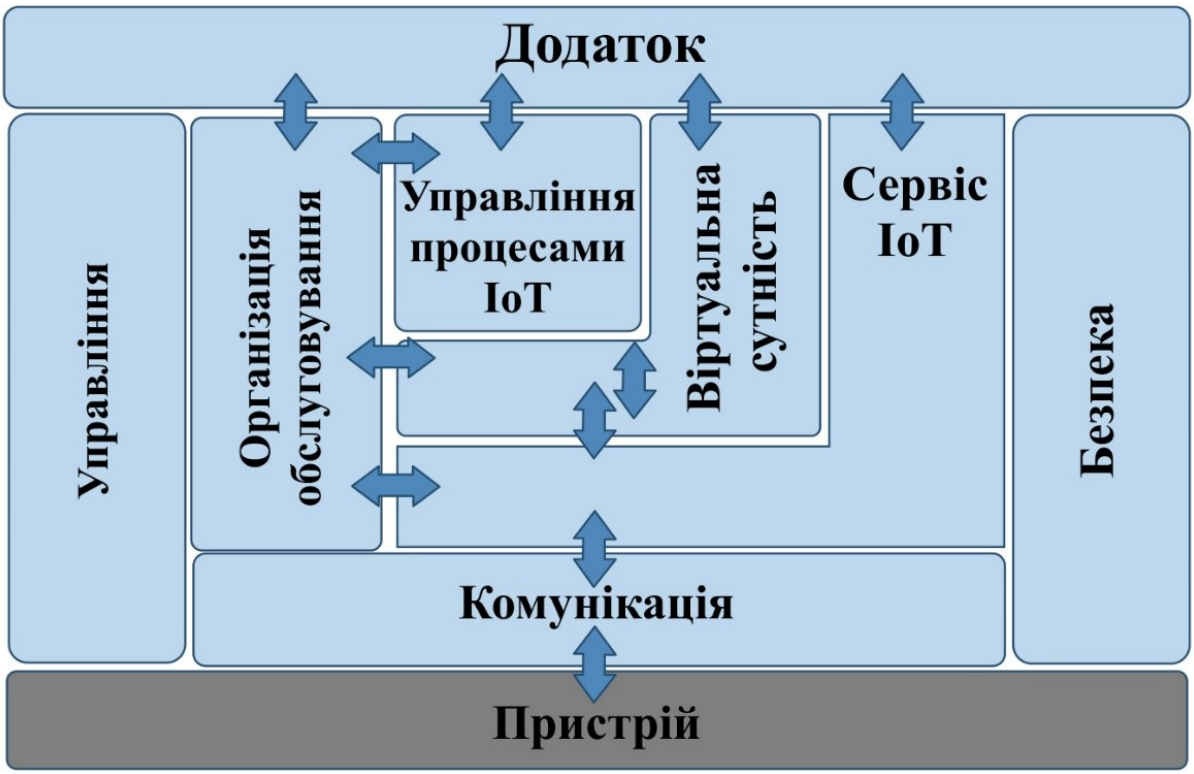


Рис. 2.3 Архітектура IoT-A [21].

На додаток до багаторівневої моделі IoT в [22] автори провели огляд галузевих еталонних архітектур IoT. Деякі відомі архітектури називаються еталонної архітектурної моделлю Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [23], еталонної архітектурою промислового Інтернету (IIRA) [24] і архітектурою Інтернету речей (IoT-A) [21] (рисунок 2.3). IoT-A концентрується на загальних аспектах інформатики, а не на аспектах семантики додатки, тоді як IIRA фокусується

на функціональні можливості галузевої області, такий як бізнес, операції (прогнозування, моніторинг, оптимізація), інформація (аналітика і дані) і додатки (UI, API, логіка і правила). RAMI 4.0 є предметно-орієнтованим і розширює погляд IIRA на життєвий цикл і потоки створення цінності виробничих програм. Крім того, був розроблений ряд архітектур для промислових інфраструктур Інтернету речей, включаючи SENSEI, ASPIRE, SmartSantander, iCore та FIESTA-IoT .

## 2.2. Зусилля щодо стандартизації

За останні пару років стандартизація IoT набрала обертів, оскільки багато організацій втрутилися і збільшили свій внесок у розробку набору протоколів, а також відкритих стандартів для розгортання IoT, які підтримують взаємодію між собою [25, 26]. Серед них Internet Engineering Task Force (IETF) взяла на себе провідну роль в стандартизації протоколів зв'язку для пристроїв з обмеженими ресурсами, таких як протокол маршрутизації для мереж з низьким енергоспоживанням і з втратами (RPL), протокол обмежених додатків (CoAP), бездротові персональні мережі з низьким енергоспоживанням (6LoWPAN) і інші. Більш того, багато інших організацій та спільноти, включаючи Міжнародний союз електрозв'язку (ITU), Європейський інститут стандартів електрозв'язку (ETSI), Проект партнерства третього покоління (3GPP), Консорціум World Wide Web (W3C), EPCglobal, Object Management Group (OMG), Organiza Організація з розвитку стандартів структурованої інформації (OASIS) та Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) внесли значний вклад в консолідацію діяльності по стандартизації IoT. ETSI представила межмашинного стандарти, які стосуються IoT-зв'язку, а ITU координував діяльність щодо аспектів систем ідентифікації для M2M. У таблиці 1.3 представлений загальний огляд найбільш відомих стандартів і протоколів, використовуваних для реалізації IoT.

На рівні додатків CoAP є найбільш широко використовуваним протоколом, який визначає веб-протокол з обмеженнями, заснований на Representational State Transfer (REST) поверх добре відомих функцій HTTP. Хоча CoAP не є стислою версією HTTP, тим не менш, це підмножина функцій HTTP з невеликим заголовком (низькі накладні витрати) і спрощеним синтаксичним аналізом, оптимізованим для оснащення обмежених пристроїв малим об'ємом пам'яті і меншими обчислювальними можливостями. CoAP підтримує транспорт UDP з надійною одноадресною і оптимальною багатоадресною розсилкою на рівні додатків, можливостями кешування проксі і виявленням ресурсів. Транспортна телеметрія черги повідомлень (MQTT) забезпечує вбудоване з'єднання між додатками і проміжним програмним забезпеченням з одного боку і мережами та комунікаціями з іншого боку. MQTT-SN спеціально визначені для сенсорних мереж і адаптовані до особливостей (і динаміці) середовища бездротового зв'язку. Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP) був спочатку розроблений для додатків чату та обміну повідомленнями, а потім був повторно використаний як в IoT, так і в SDN (Software Defined Networking). Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) - це відкритий стандартний протокол прикладного рівня для IoT, що підтримує середовища, орієнтовані на повідомлення. Деякі з ключових функцій AMQP включають орієнтацію повідомлень, постановку в чергу, маршрутизацію (включаючи двоточкову і публікацію і підписку), надійність і безпеку. OMG представляє інший протокол публікації / підписки, так званий Data Distribution Service (DDS), який підходить для зв'язку IoT і M2M завдяки відмінним рівнями якості обслуговування (QoS) і архітектурі без посередників, яка гарантує надійність.

Через високу масштабованість IoT потрібен стандартний механізм управління ресурсами типу системи доменних імен (DNS) для реєстрації та виявлення ресурсів саморегульованим, ефективним і динамічним способом. Multicast DND (mDNS) і виявлення служби DNS (DNS-SD) можуть переглядати мережу для виявлення ресурсів і послуг, пропонованих

пристроями IoT. IETF розробив RPL як протокол маршрутизації, що не залежить від каналу, який заснований на IPv6 для вузлів з обмеженими ресурсами [83]. У RPL вузли створюють орієнтований на адресат спрямований ациклічний граф (DODAG) шляхом обміну векторами відстаней і коренем з контролером. Протокол 6LowPAN - це рівень адаптації, що дозволяє транспортувати пакети IPv6 по мережах IEEE 802.15.4 з максимальним розміром пакета 127 байтів. Стандарт забезпечує стиснення заголовків IPv6 і UDP / ICMP і фрагментацію для повторної збірки пакетів IPv6. IETF розробила робочу групу під назвою 6TiSCH для стандартизації IPv6 для проходження через режим перемикання каналів з часовим інтервалом (TSCH) в каналах передачі даних IEEE 802.15.4e.

Протокол IEEE 802.15.4 визначає підрівень для управління доступом до середовища (MAC) і фізичний (PHY). Він визначає формат кадру і заголовки (включаючи адреси джерела і призначення), а також пояснює, як вузли можуть взаємодіяти один з одним [27]. Цей стандарт використовується IoT, M2M і WSN через його характерні особливості, такі як низьке енергоспоживання, низька швидкість передачі даних, низька вартість, сумісність, надійний зв'язок і висока пропускна здатність повідомлень. Bluetooth Low-Energy (BLE) - ще один хороший кандидат для додатків IoT, оскільки він пропонує більш широкий діапазон, меншу затримку і мінімальна кількість енергії в порівнянні з класичним Bluetooth. Технологія RFID використовує унікальні ідентифікаційні номери електронного коду продукту (EPC), в той час як EPCGlobal став універсальним стандартом. Long-Term Evolution Advanced (LTE-A) - це масштабований і недорогий протокол, який добре підходить для додатків M2M-зв'язку і IoT в стільникових мережах. Z-Wave - ще один протокол з низьким енергоспоживанням, який спочатку був розроблений для мереж автоматизації в додатках розумного будинку, а потім був розроблений для невеликих комерційних областей [28].

На додаток до тих стандартів, які визначають операційну структуру IoT, існує безліч інших протоколів для забезпечення безпеки, взаємодії і

управління. Оскільки традиційні протоколи безпеки в Інтернеті не завжди сумісні з пристроями IoT з обмеженими ресурсами, були визначені спеціальні протоколи (наприклад, IPsec, Datagram Transport Layer Security (DTLS), Host Identity Protocol Diet- обмін (HIP-DEX)). Крім того, доступні деякі інші протоколи управління, такі як IEEE 1905.1 для взаємодії, глобальна мережа дальньої дії (LoRaWAN) [29], бездротова інтелектуальна повсюдна мережу (Wi-SUN) [30], вузькосмуговий Інтернет речей (NB- IoT), Sigfox і Zigbee для малопотужних глобальних мереж (LPWAN). Неліцензований спектр для LPWAN, LoRa radio, визначає фізичний і канальний рівні LPWAN, тоді як LoRaWAN аналогічний мережевого і транспортного рівнів OSI com. стек зв'язку. LoRaWAN - це відкритий мережевий протокол, який управляє зв'язком між шлюзами і кінцевими пристроями [29].

Згідно прогнозам велика частина зростання технологій LPWAN буде підтримуватися NB-IoT, LTE-M і Wi-SUN в період з 2017 по 2023 рік. Більш того, очікується, що LoRa і Sigfox відповідно матимуть більші і стабільні темпи зростання протягом наступних семи років.

## 2.3. Різновиди систем управління розумним будинком

### Дротові та бездротові системи автоматизації

Інтернет - це основа повсякденного життя, ми використовуємо його не тільки для зв'язку з сім'єю і друзями, але і для перегляду фільмів, покупок і управління фінансами. Проте, все ще задається багато питань про те, як ми управляємо всіма цими даними і як найкраще поширювати сигнали по кожній кімнаті в наших будинках. Всепроникаючий характер Інтернету та все більш надійні бездротові мережі призводять до критичного питання - провідний або бездротовий?

Звичайно, якщо ми говоримо про додатки з високою пропускною здатністю, все одно може бути невелика різниця у якості сигналу, але вона настільки мала, що для більшості людей це не проблема. Хоча відправка

контенту HDMI без кабелів як і раніше є проблемою, для налаштування потокової передачі Netflix на Apple TV пристойна мережа Wi-Fi відмінно підходить для більшості середовищ.

Велика частина критики, яку залучають бездротові системи управління, зводиться до їх меншого практичного робочому діапазону. Візьмемо, наприклад, Z-Wave - він має розумний максимальний радіус дії близько 30 м, вільне поле; крім того, його ефективність майже миттєво падає. Це робить його ненадійним? Не до тих пір, поки ви будете дотримуватися його робочих параметрів.

Сама Cat6 має корисний діапазон тільки 100 м, тому, хоча він йде далі, він все ще страждає тими ж проблемами - за межами цієї відстані він стає неймовірно ненадійним. Крім того, якщо Cat6 неправильно встановлений - наприклад, неекрановані проводи проходять поруч з мережевими кабелями на 230 В - тоді сигнал буде серйозно порушений.

Бездротові технології в розумному будинку, як правило, служать однією з двох цілей: доставка контенту (Wi-Fi для потокової передачі відео за запитом, доступ в Інтернет і т. д.) І сигнали управління. Що стосується останнього, багато людей які працюють в цій сфері вважають, що засновувати свою стратегію управління на бездротовій платформі - погана ідея при створенні систем з нуля. Використання бездротового зв'язку в розумному будинку дає нові можливості на ринках модернізації і велику гнучкість в їх наземних установках.

Деякі бездротові платформи, такі як Z-Wave, можуть забезпечити такий же рівень надійності, як і більш традиційні дротові системи. Обмеження діапазону можна подолати за допомогою пористих мереж, в яких сигнал передається через вузли з живленням на пристрої, які в іншому випадку були б недоступні.

***Плюси бездротового зв'язку:***

- Легко встановити.
- Вам не потрібно підключатися до розетки.

- Кабелів менше.
- Працює на відстані до 100 м від базової станції.
- Його легко і дешево модернізувати.

***Мінуси бездротового зв'язку:***

- У бездротової системі кожному об'єкту як і раніше потрібно електрична енергія для управління, тому після установки бездротової системи завжди буде елемент перенаправлення проводки і повторного декорування. АБО заміна батареї.
- Це не так швидко, як дротове з'єднання - обмежуючим фактором є пропускна здатність, яка надходить в будинок. Якщо пропускна здатність в будинку є обмежуючим фактором, то пропускна здатність бездротової системи в будинку не є проблемою!
- Часто бувають сліпі зони - часто це не працює всюди в будинку: зокрема, алюмінієва плівка (іноді використовується з гіпсокартоном, ізоляцією або підлогою з підігрівом) блокує бездротової прийом.
- Інші пристрої можуть створювати перешкоди для. е, г, електродвигуни
- Це створює проблеми при плануванні наперед - як дізнатися, чи спрацює це чи ні?
- Багато додатків для розумного будинку не є бездротовими - наприклад, розважальні системи, системи сигналізації, деякі системи домашньої автоматизації.
- Безпека - будь-хто може «обнюхати» ваші бездротові сигнали, додати свої власні команди або просто заблокувати їх, щоб нічого не працювало.

***Плюси дротового зв'язку:***

- Постійне дротове з'єднання для безперебійної роботи і стабільної роботи.

- Гарантована відсутність перешкод - не вплине на інші бездротові пристрої, такі як гаражні ворота, іграшки з дистанційним управлінням, домашні концентратори і т. Д.
- Цілісний; провідні системи здатні запускати прості або складні додатки, інтелект, який використовується для управління послугами вашого будинку, централізований, а не поширюється по всьому будинку.
- Ніяких громіздких надбудов до ламп або радіаторів, щоб зробити їх «розумними».
- При установці провідної системи потрібно лише мінімальна кількість додаткової проводки в порівнянні з будинком з традиційною проводкою при проведенні капітального ремонту або самостійного будівництва, коли потрібна нова проводка.
- Заміна батареї не потрібна.

***Мінуси дротового зв'язку:***

- Капітального ремонту або перепідключення не розглядається, варіант з проводкою непридатний через витрати на «ремонт» і обробку.
- Кабелі можуть зруйнувати щури, які практично все гризуть. Або в ході нового ремонту випадково порушена або пошкоджена дротова система.
- Перехід на бездротовий зв'язок дозволяє власникам або будівельникам відкласти свої інвестиції в процес будівництва до самого кінця. Хоча це вірно, витрати на електропроводку незначні в порівнянні з витратами на ремонт або будівництво будинку.

У даній роботі я буду удосконалювати архітектуру саме ***бездротової платформи***, тому що майбутнє за бездротовими технологіями. А як саме і за допомогої яких технологій буде удосконалюватися архітектура розумного будинку я розгляну у третьому розділі – і це буде технологія мобільного зв’язку п’ятого покоління (5G), за допомогою якої будуть підвищені більшість показників. Насамперед технологія 5G ще дуже нова та «свіжа» в

мажех України і якщо розглядати питання  впровадження цієї технології, можна зіткнутися з рядом проблем:

– частоти, які можуть бути використані під технології п’ятого покоління;

– особливості розгортання;

– неготовність абонентів.

По-перше, кабінет міністрів затвердив план заходів щодо впровадження в Україні системи мобільного зв'язку 5G, згідно з яким оголошення тендера на видачу ліцензій на користування радіочастотним ресурсом (РЧР) з використанням 5G повинен відбудуться в жовтні 2021 року. Вибрані частоти двох груп: низькі в діапазоні 700 МГц і високі в діапазоні 3,4-3,8 ГГц - ці ж діапазони для розгортання мереж 5G використовуються в Європі [31, 34].

По-друге, перші ліцензії 5G з дією на 5 років отримають вимоги на покриття 5 найбільших міст країни протягом 3-х років. Це дозволить розвивати інтернет речей (IoT), підтримувати інновації та сприяти розвитку конкурентоздатності української промисловості на світовому ринку.  Лише з 2023 року почнеться будівництво, точніше комерційна експлуатація мереж 5G.

По-третє, на сьогодні пристроїв які підтримуть технологію 5G не багато та коштувати вони зараз можуть дорожче ніж їх попердники без підтримки технології п’ятого покоління стільникового зв’язку, але це все вирішується з плином часу, уже кожен виробник техніки та такі компанії як Apple, Tesla, Samsung випускають кінцеві пристрої з підтримкою 5G, будь то електрокар або розумна колонка чи телефон.

У технології є всі шанси не тільки зробити "Інтернет речей" доступним мейнстрімом, а й повністю замінити Wi-Fi обладнання, яке не прив'язуватиме абонента до точки доступу з обмеженим радіусом дії.

**Архітектура апаратних засобів розумного будинку**

На даний момент існують три архітектури системи управління "розумним будинком". Коли ви починаєте проектувати свій розумний будинок, вам дуже скоро доведеться прийняти кілька ключових рішень. Одине з них - вибір на користь централізованої системи з центральним пристроєм або розподіленої (децентралізованої) системи, в якій ваші пристрої з'єднуються один з одним, або ж нова комбінована система. Зараз ми розглянемо ці типи систем, та розглянемо в чому їх різниця.

**Централізована система**

Почнемо з централізованих систем. Кожна з цих систем управляється одним центральним пристроєм. Цей контролер дозволяє вам підключати всі інші пристрої і змінювати налаштування в найкоротші терміни. Увімкніть світло одним дотиком, вимкніть двома, проведіть пальцем, щоб включити сигналізацію, і так далі. Централізовані системи зазвичай поставляються з простим у використанні інтерфейсом, так що ви можете налаштувати свою конфігурацію за кілька клацань мишею, і вони мають футуристичний вигляд.

Шукаєте приклади? Можна сказати, що більшість сучасних систем розумного будинку централізовані: Amazon Alexa, Google Home, Apple HomeKit, Samsung Smartthings і так далі.

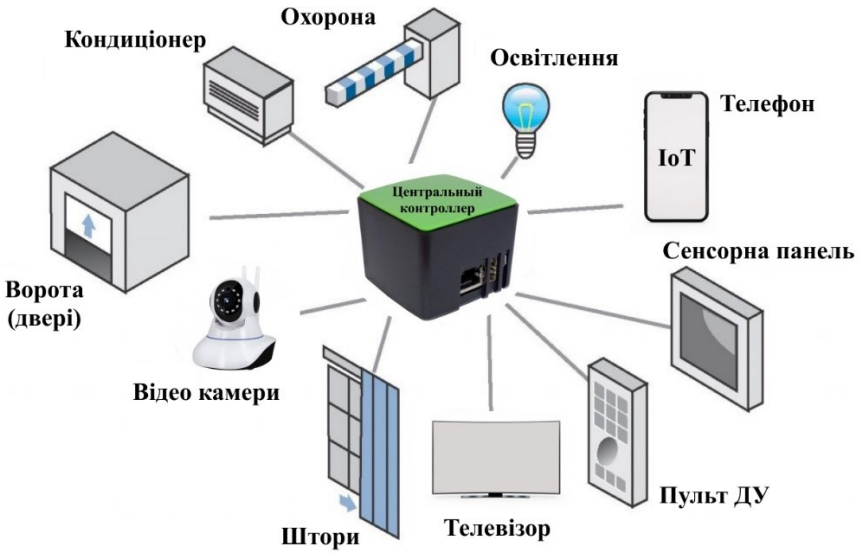


Рис. 2.4 Архітектурна схема централізованої системи розумного будинку.

Добре, тепер ми знаємо, що централізована система означає, що ваш розумний будинок управляється центральним контролером (Рисунок 2.4). Це відразу пояснює один з основних недоліків централізації. Що станеться, якщо ваші пристрої зламані або батарея розряджена? Вашій системі голосового управління не буде про що говорити (не буде даних). Ще гірше: коли ваш контролер вийде з ладу, вся ваша система буде виключена. Так, ваша розумна сигналізація перестане стежити за вашим будинком, коли ви лежите на пляжі. Також майте на увазі, що термін служби пристроїв зазвичай не перевищує терміну служби будинку, в якому ви живете. Ваша система розумного будинку вимагає постійних оновлень, які можуть спричинити за собою додаткові витрати.

Підводячи підсумок, централізована система проста в установці і дозволяє вам контролювати свої налаштування. Однак, коли одна частина ланцюжка опускається, рішення не завжди просте.

**Децентрализованная система**

Розумні будинки існують вже більше 30 років. Так, дійсно. Цього немає не тому, що ми чогось не помічаємо. Децентралізована або розподілена система не контролюється користувачем. Не маючи можливості вносити зміни в установку, ви також не можете її зламати. Вона захищає вас від самого себе.

У розподіленої системі вам не потрібно ні на що натискати або кричати пристрою, щоб вимкнути світло. Таймери і датчики зроблять це за вас автоматично, так що вам не потрібно ні про що турбуватися (Рисунок 2.5). Але як це працює?

У децентралізованій (розподіленій) системі всі пристрої взаємодіють один з одним, це означає, що всі вони спілкуються один з одним. На відміну від централізованої системи, де одна центральна система спілкується з кожним пристроєм окремо.

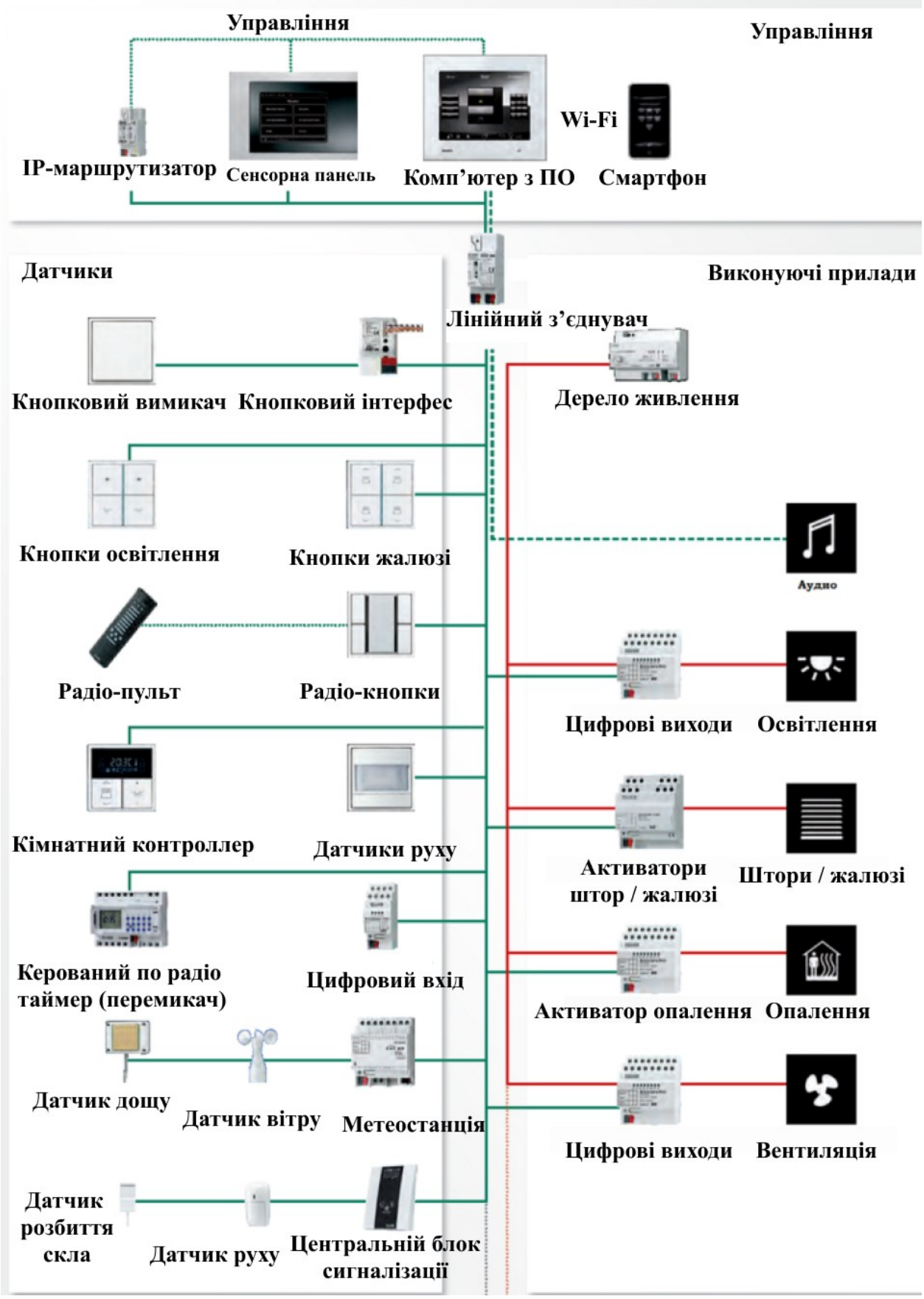


Рис. 2.5 Архітектурна схема децентралізованної системи управління розумним будинком.

Ваша розподілена система гарантує, що якщо ваш центральний пристрій вийде з ладу, інші пристрої будуть продовжувати працювати. Це особливо важливо в комерційних будівлях, таких як магазини, офіси чи готелі, але також ваш приватний будинок може отримати вигоду від гарантованої інтелектуальної системи. Також розподілена установка не вимагає ніяких оновлень, які можуть вплинути на всю установку. І, нарешті, що не менш важливо, розподілена система - це стійка система, оскільки після того, як будинок був зроблений розумним, він підключається таким чином.

Але і у розподілених систем є свої мінуси. Для встановлення інтелектуальної системи потрібен професійний спеціаліст, який інтегрує систему. Крім того, в більшості випадків, коли необхідні зміни, необхідно викликати професійного спеціаліста. Стандарт KNX - відмінний приклад децентралізованої системи. KNX пропонує програмне забезпечення, і цілий ряд інших компаній по всьому світу пропонують KNX-сумісні пристрої, які можуть працювати разом, що відкриває безліч можливостей домашньої автоматизації.

Чи означає це, що розподілена система ніколи не дозволяє вам нічого налаштовувати? Звичайно, ні. В останні роки в децентралізованих системах було розроблено кілька програмних рішень, за допомогою яких можна самостійно внести невеликі зміни в свій розумний будинок. Наприклад, KNX ETS Inside може управлятися з вашого смартфона або планшета.

**Комбінована система**

Під комбінованої схемою розуміють сукупність централізованих і розподілених систем з декількома керуючими центрами (Рисунок 2.6). Найчастіше така схема включає провідну централізовану систему, яка приймає рішення, і кілька допоміжних децентралізованих і централізованих підсистем. Саме так створюється більшість сучасних розумних будинків.

Схема об'єднує два основних типи систем і максимально нівелює їх недоліки. Переваги такого рішення очевидні. Налагодження кожної з підсистем зазнає суттєвого спрощення, а надійність підвищується, оскільки провідний контролер відстежує працездатність кожної ділянки системи.

Найбільш поширеним і практичним варіантом комбінованої схеми вважається такою: управління кожної підсистемою покладається на окремий контролер. Кожен з них в свою чергу підпорядковується основному контролеру. Значущим недоліком схеми вважається складність програмування і відома всіх підсистем в єдину мережу. І здійснити це може тільки добре підготовлений програміст.

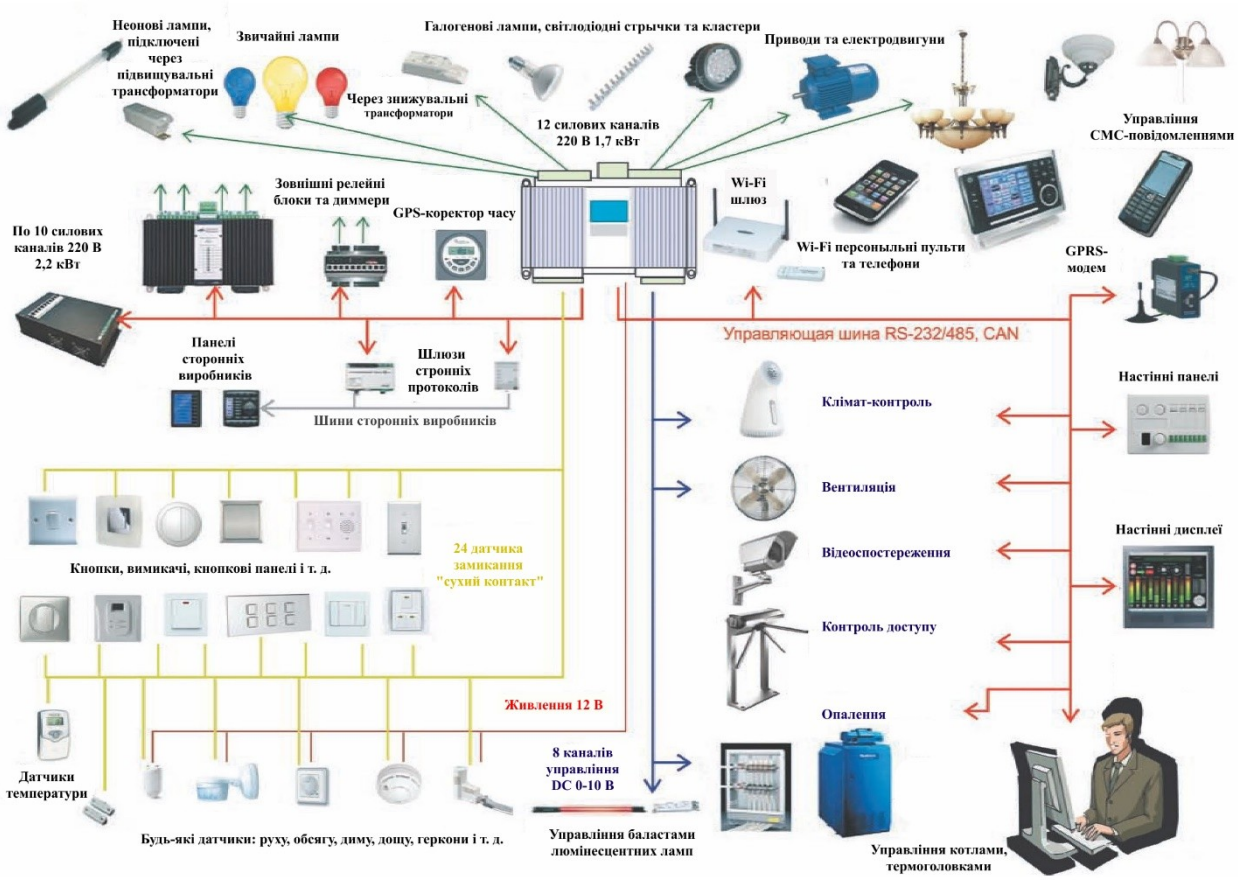


Рис. 2.6 Архітектурна схема комбінованої системи управління розумним будинком.

**Висновки**

У цьому розділі представлений огляд світу IoT і декількох важливих аспектів IoT, такиї як різновиди систем управління розумним будинком, представлені переваги та недоліки цих систем, оглянуті питання щодо стандартизації IoT яка за останні роки набрала обертів. Розглянули архітектуру та таксономію та безліч протоколів які використовуються для передачі даних.

Щоб IoT перетворився в прибуткове підприємство і знайшов свою повністю гнучку прагматичну реалізацію, були обговорені численні фактори. По суті, всесвітнє визнання IoT в першу чергу залежить від декількох ключових факторів, таких як надійність з обмеженим часом відгуку, економічний і поетапний підхід, який враховує існуючу інфраструктуру, тим самим стимулюючи зацікавлені сторони, безшовну інтеграцію з урахуванням неоднорідності з точки зору об'єктів, технологій , протоколів, платформ, додатків і т. д., масштабованість з точки зору величезних об'єктів, розподілених по цілому парку локацій, які будуть підключені через Інтернет, доступність допоміжної інфраструктури для збору, обміну і обробки великих даних і, нарешті, здатність робити розумні висновки, виконуючи інтелектуальний аналіз даних, дані та їх аналітика, машинне навчання, яке, в свою чергу, допомагає в прийнятті рішень.

# РОЗДІЛ 3

# УДОСКОНАЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ПОЄДНАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ

## 3.1. Локальні мережі 5G можуть замінити звичний стандарт бездротового зв'язку

Через десять років нам не знадобиться Wi-Fi [32]. Принаймні, так говорить Азхар Хуссейн, генеральний директор IoT-компанії Hanhaa. Він вважає, що кінець Wi-Fi близький, тому що розподіл спектра меншими порціями дозволить муніципалітетам, університетам і компаніям створювати приватні стільникові мережі 5G і згодом це дійде до звичайних будинків, тобто розумних будинків (Smart House). Зручність цих мереж спонукає компанії вибирати для своїх пристроїв IoT стільниковий зв'язок замість Wi-Fi.

Є підстави думати, що Азхар Хуссейн правий, принаймні, в відношенні більш дорогих пристроїв, таких як медичні пристрої, побутова техніка та вуличне спорядження, таке як роботи для чищення басейнів. Зак Супалла, генеральний директор Particle, компанії, яка поставляє компоненти Інтернету речей підприємствам з невеликим досвідом створення підключених продуктів, каже, що більше половини пристроїв Інтернету речей в хмарі Particle, що використовують мобільні з'єднання, також знаходяться в межах досяжності мережі Wi-Fi. Зак Супалла розповідає що компанії вибирають стільникові модулі замість Wi-Fi, тому що модулі простіші в установці, а підприємства можуть краще контролювати взаємодію зі споживачами.

Відомо, що пристрої Wi-Fi складно підключити один до одного або створити пару. Щоб підключити продукт до своєї домашньої мережі Wi-Fi, споживачам часто потрібно створити пару з програмною точкою доступу, перш ніж вмикати в свою власну мережу.

Цей процес може бути не злегких, тому що трапляються помилки. Атор статті [32] приводить приклад, що навіть він, репортер, перевірявши сотні пристроїв не міг підключити до мережі пристрої у третині випадків. Щоб спростити завдання, Amazon і Google створили пропрієтарні процеси адаптації, які обробляють налаштування від імені користувача, так що, коли споживачі включають свої пристрої, вони автоматично намагаються підключитися до своєї мережі.

Однак виробникам пристроїв як і раніше доводиться впроваджувати програми Amazon і Google окремо, а для цього потрібні ноу-хау, якими деякі компанії не володіють. На щастя, Amazon, Apple і Google зараз працюють над стандартом розумного будинку, який може спростити ситуацію. Але подробиць трохи, і будь-яке рішення, яке вони розроблять, буде доступно не раніше ніж наприкінці 2021 року.

За словами Хуссейна, коли ви стикаєтеся з декількома екосистемами Wi-Fi, стільниковий зв'язок стає простіше. Стільникові мережі зараз коштують дорожче, тому що вам потрібно встановити радіоприймачі на пристрої та сплатити передплату, щоб користуватися мережею. Хуссейн бачить, що ці витрати знижуються, а згодом можуть навіть зникнути.

Це тому, що він передбачає майбутнє, коли університети, підприємства і муніципалітети будуть створювати свої власні стільникові мережі. Виробники стільникового обладнання вже створюють обладнання і тестують ці приватні мережі на заводах і в офісах, звісно в Україні це все тільки почнеться після 2023 року, коли у 5 найбільших містах країни будуть впроваджені 5G мережі стільникового зв’язку. Якщо будуть розроблені нові плани роумінгу, що дозволяють пристроям легко підключатися до цих локальних мереж, подібно підключенню до точки доступу Wi-Fi, стільниковий зв'язок стане практично безкоштовним.

Навіть якщо бачення Хуссейна не збудеться в найближчі 10 років, вартість контрактів на мобільний зв'язок з низькою швидкістю передачі даних буде продовжувати знижуватися, і це все одно може в кінцевому

підсумку забити цвях в труну для Wi-Fi. І я в основному згоден: я думаю, що є багато причин вважати, що Wi-Fi ніколи не зникне повністю, але я дійсно думаю, що невеликі мобільні мережі займуть своє місце в нашому житті. А як саме це можна зробти ми розлянемо у наступному підрозділі.

## 3.2. Технології які можуть забезпечити прорив у IoT

Давайте спочатку з’ясуємо чим відрізняється 5G (для Wi-Fi) та 5G (для стільникового зв’язку). Спочатку WiFi працював на частоті 2,4 ГГц - до речі, на тій же частоті, що і ваша мікрохвильова піч. Але з 802.11ac він також міг використовувати частоту 5 ГГц. Цей «5G» Wi-Fi пропонував значно вищу швидкість, але набагато меншу дальність дії. Велика частина Wi-Fi може долати відстань від 15 до 20 метрів в будинку або близько 45 метрів на відкритому повітрі. Але 5G Wi-Fi в 10-20 разів швидше, але може переміщатися тільки на 7-15 метрів в приміщенні. Швидше, але ближче.

У стільниковому зв’язку покоління маркуються цифрамии та приставкою «G». У багатьох країнах зараз викристовують 4G (LTE) хоча деякі з LTE дійсно є 4G-мінусами, а деякі 4G дійсно є «просунутими» 4G або тим, що я називається 4G plus, наприклад у Lifecell є такий тариф. Наступне покоління стільникового зв'язку буде називатися 5G, що не слід плутати з WiFi 5G.

І ось що дійсно збиває з пантелику. Стільниковий зв'язок 5G може бути реалізований в діапазоні 5 ГГц, аналогічно WiFi 5G 802.11ac. І, як і Wi-Fi 5G, стільниковий зв'язок 5G набагато швидше, але також має дуже малий радіус дії. Таким чином, Wi-Fi 5 ГГц і стільниковий зв'язок 5 ГГц поділяють правило «швидше, але ближче».

Але технологія і сумісність між Wi-Fi 5G і стільниковим зв'язком 5 поколыння на 100% відрізняються. Вони не можуть спілкуватися один з одним. Вони не використовують одні і ті ж радіомодулі або набори мікросхем, і вони не можуть взаємодіяти ні на якому рівні і будь-яким чином. Це збиває з пантелику і сумно, що вони обидва використовують назву «5G» і

(за випадковим збігом) обидва можуть працювати на частоті 5 ГГц. Сучасні мобільні користувачі хочуть більш високих швидкостей передачі даних і більш надійного обслуговування. Наступне покоління бездротових мереж 5G - обіцяє надати це і багато іншого. З 5G користувачі повинні мати можливість завантажувати фільм високої чіткості менш ніж за секунду (завдання, яке може зайняти 10 хвилин в 4G LTE). І інженери бездротового зв'язку говорять, що ці мережі будуть стимулювати розвиток і інших нових технологій, таких як автономні транспортні засоби, віртуальна реальність і розумний будинок на основі Інтернету речей.

Є чудова діаграма (рисунок 3.1), яка демонструє одну спільну рису «Більш швидке і гірше покриття». Ви можете бачити, що в міру збільшення частоти охоплення стає гірше (чим вище на цьому графіку, тим гірше). Рожева область показує частоти стільникового зв'язку 3G / 4G, а синя показує частоти, які найчастіше розглядаються як «5G». Зверніть увагу, що WiFi 5 ГГц - це те місце, де я намалювана червона лінія:

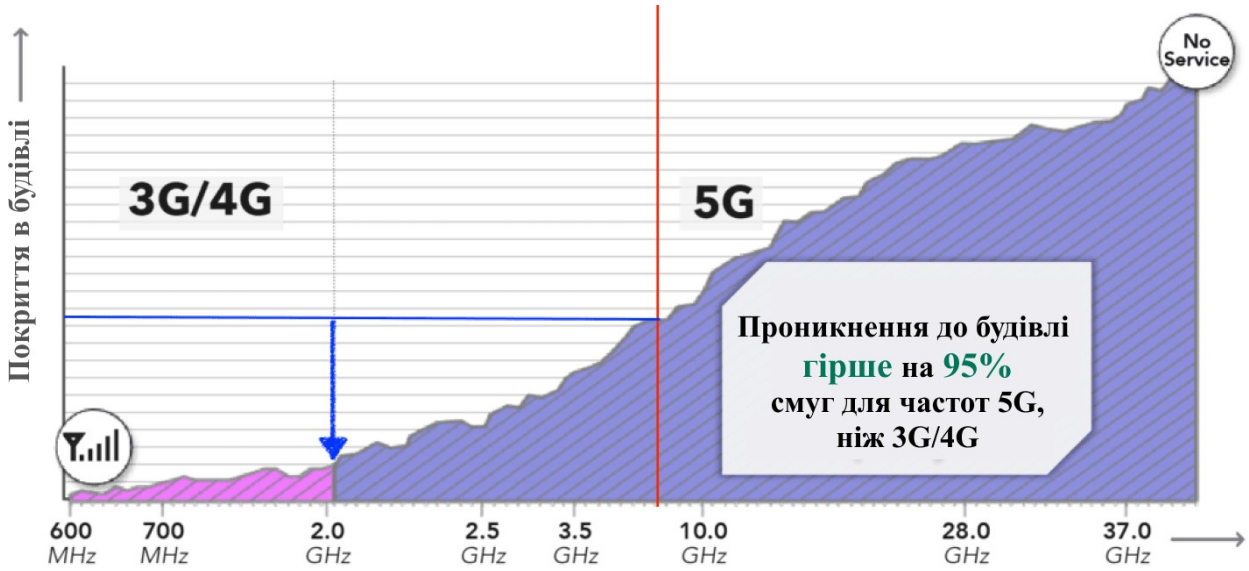


Рис. 3.1 Діаграма частот покриття [33].

Тепер подивіться на синю стрілку. Вона показує зниження покриття всередині будівлі на частоті 5 ГГц. Також слід зазначити, що покриття 600 МГц всередині будівель значно перевершує більш поширені частоти 1-2 ГГц, на яких побудовано більшість мереж 3G і 4G. Щоб мати «покриття всюди»

(як всередині будівель, так і на великих ділянках відкритої місцевості) потрібно розгорнути 600 МГц зліва і справа. Стільникова система іменування 5G збиває з пантелику через те, що вона широко асоціюється з частотами вище 2,1 ГГц і вважається більш швидкою завдяки рекламі, яка рекламує швидкості у GB. Але стільниковий зв'язок 5G - це набагато більше про ефективне управління використанням спектра. Одна з найбільш важливих функцій стільникового зв'язку 5G - можливість мати маленькі клітини / соти (Small Cells), які ми розглянемо трішки пізніше. Несуча матиме соту 600 МГц, що забезпечує повсюдне покриття на великій території, до радіуса 50 кілометрів. Однією з найважливіших функцій стільникового 5G є здатність мати комірки які перекриваються. Потім будуть розгорнуті 850 МГц, 950 МГц і 2100 МГц, щоб розвантажити соту 600 МГц.

## 3.3. Удосконаленя архітектури «Smart House» технологією 5G

Якщо все піде добре, телекомунікаційні компанії сподіваються представити перші комерційні мережі 5G на початку 2020-х років, але з приходом пандемії цей процес дуже затримується. Однак в даний час 5G все ще знаходиться на стадії планування, не тільки в Україні, а і в більшості інших держав, і компанії та галузеві групи працюють разом, щоб точно визначити, яким саме він буде. Але всі вони згодні в одному питанні: у міру зростання числа мобільних користувачів, IoT пристроїв для роумних будинків, розумних міст та їх попиту на дані 5G повинна обробляти набагато більше трафіку на набагато більш високих швидкостях, ніж базові станції, що становлять сьогоднішні стільникові мережі.

Для цього інженери бездротового зв'язку розробляють набір абсолютно нових технологій. Разом ці технології будуть доставляти дані з затримкою менше мілісекунди (в порівнянні з приблизно 70 мс в сучасних мережах 4G) і забезпечувати користувачам пікову швидкість завантаження 20 гігабіт на секунду.

На даний момент ще не ясно, які технології будуть найбільш ефективні для 5G в довгостроковій перспективі, але з'явилося кілька перших фаворитів. До лідерів належать міліметрові хвилі, маленькі осередки, масивний MIMO, повнодуплексний режим і формування променя. Тому корисно пройтися по цих п'яти технологіям і подумати, що кожна з них буде означати для користувачів бездротового зв'язку. На мою думку синтез цих технологій підвищіть загальні показники, та вирішить проблеми які були розглянуті мною [89, 91], насамперед для таких сфер як розумний будинок побудований на основі IoT, також не можна не торкнутися теми розумного міста, адже сукупність розумних будинків та датчики встановлені навколо, той же світлофор або машина яка за допомогою 5G швидко аналізує і за допомогою AI оброблює інформацію с камер та їде самостійно дорогою.

**Міліметрові хвилі (Millimeter Waves)**

Сучасні бездротові мережі зіткнулися з проблемою: більше людей і пристроїв споживають більше даних, ніж будь-коли раніше, але вони як і раніше зосереджені в тих же діапазонах радіочастотного спектру, які завжди використовували оператори мобільного зв'язку. Це означає меншу пропускну здатність для всіх, що призводить до більш повільного обслуговування і більшій кількості розірваних з'єднань.

Один із способів обійти цю проблему - просто передавати сигнали в абсолютно новому діапазоні спектра, який раніше ніколи не використовувався для мобільних послуг. Ось чому провайдери експериментують з мовленням на міліметрових хвилях, які використовують більш високі частоти, ніж радіохвилі, які довгий час використовувалися для мобільних телефонів.

Міліметрові хвилі передаються на частотах від 30 до 300 ГГц (див. рисунок 3.2), в порівнянні з смугами нижче 6 ГГц, які використовувалися для мобільних пристроїв в минулому. Їх називають міліметровими хвилями, тому що вони розрізняються по довжині від 1 до 10 мм, в порівнянні з

радіохвилями, які обслуговують сучасні смартфони, які мають довжину в десятки сантиметрів.

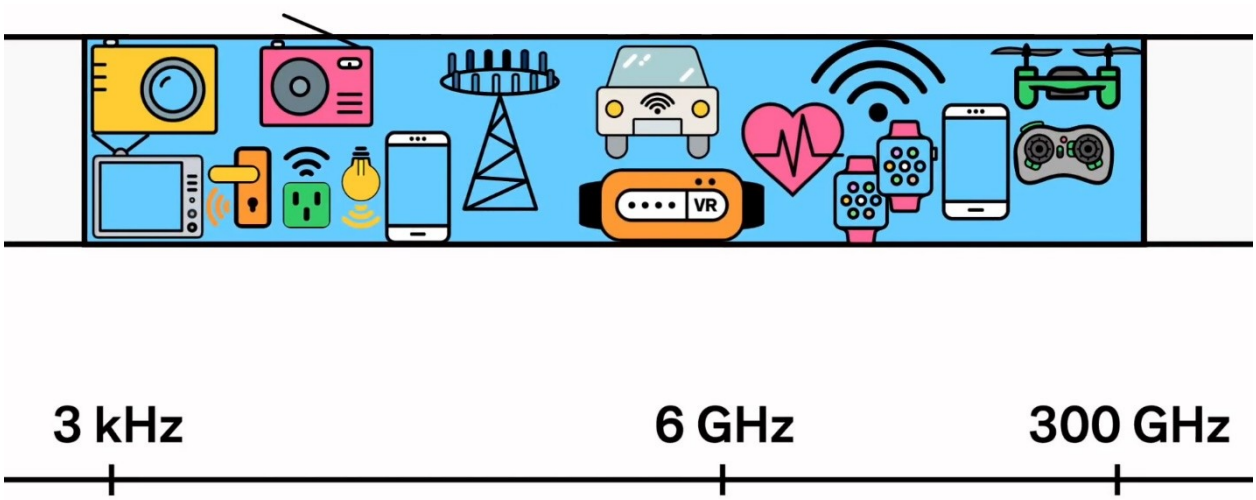


Рис. 3.2 Частоти міліметрових хвиль та пристрої які можна підключити.

До сих пір тільки оператори супутників і радарних систем використовували міліметрові хвилі для реальних додатків. Тепер деякі оператори стільникового зв'язку почали використовувати їх для передачі даних між стаціонарними точками, такими як дві базові станції. Але використання міліметрових хвиль для підключення мобільних користувачів до найближчої базової станції - це абсолютно новий підхід.

Однак у міліметрових хвиль є один серйозний недолік - вони не можуть легко проходити через будівлі або перешкоди, і вони можуть поглинатися. Ось чому мережі 5G, ймовірно, доповнять традиційні вежі стільникового зв'язку іншою новою технологією, так звану як Small Cells (Малі Клітини).

**Маленькі клітини (Small Cells)**

Small Cells - це портативні мініатюрні базові станції, які вимагають мінімальної потужності для роботи і можуть бути розміщені кожні 250 метрів по всьому місту. Щоб запобігти скидання сигналів, оператори зв'язку можуть встановити тисячі цих станцій в місті, щоб сформувати щільну мережу, яка діє як ретрансляторна група, приймаючи сигнали від інших базових станцій і відправляючи дані користувачам в будь-якому місці.

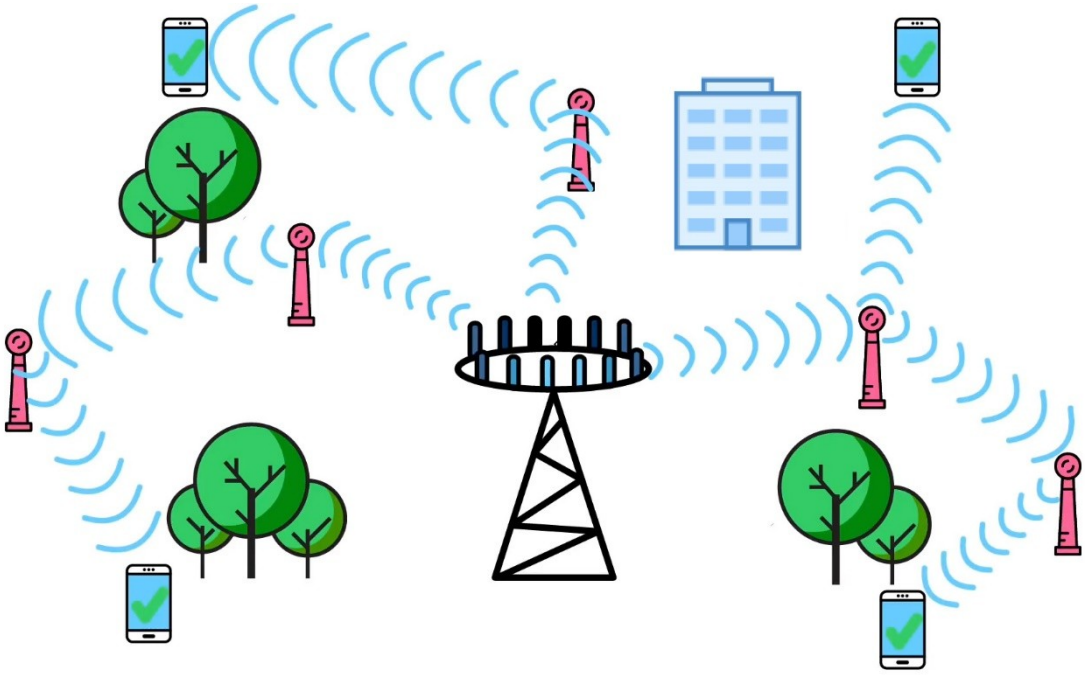

Рис. 3.3 Схематичне зображеняя використання Small Cells.

У той час як традиційні стільникові мережі також стали покладатися на все більшу кількість базових станцій, для досягнення продуктивності 5G потрібно ще більша інфраструктура. На щастя, антени на малих стільниках можуть бути набагато менше традиційних антен, якщо вони передають крихітні міліметрові хвилі. Ця різниця в розмірах дозволяє ще простіше наклеювати осередки на ліхтарні стовпи і на дахах будівель.

Ця радикально інша мережева структура повинна забезпечувати більш цілеспрямоване і ефективне використання спектра. Наявність більшої кількості станцій означає, що частоти, які одна станція використовує для підключення до пристроїв в одній області, можуть бути повторно використані іншою станцією в іншій області для обслуговування іншого клієнта. Однак є проблема - величезна кількість малих сот, необхідних для побудови мережі 5G, може затруднити встановлення в сільській місцевості.

Крім мовлення на міліметрових хвилях, базові станції 5G також матимуть набагато більше антен, ніж базові станції сьогоднішніх стільникових мереж, щоб скористатися перевагами ще однієї нової технології: масивного MIMO (Massive MIMO).

**Масивний MIMO (Massive MIMO)**

Сьогоднішні базові станції 4G мають десяток портів для антен, які обробляють весь стільниковий трафік: вісім для передавачів і чотири для приймачів. Але базові станції 5G можуть підтримувати близько сотні портів (Рисунок 3.4), а це значить, що на одному масиві може поміститися набагато більше антен. Ця можливість означає, що базова станція може відправляти і приймати сигнали від багатьох інших користувачів одночасно, збільшуючи пропускну здатність мобільних мереж в 22 рази або більше.

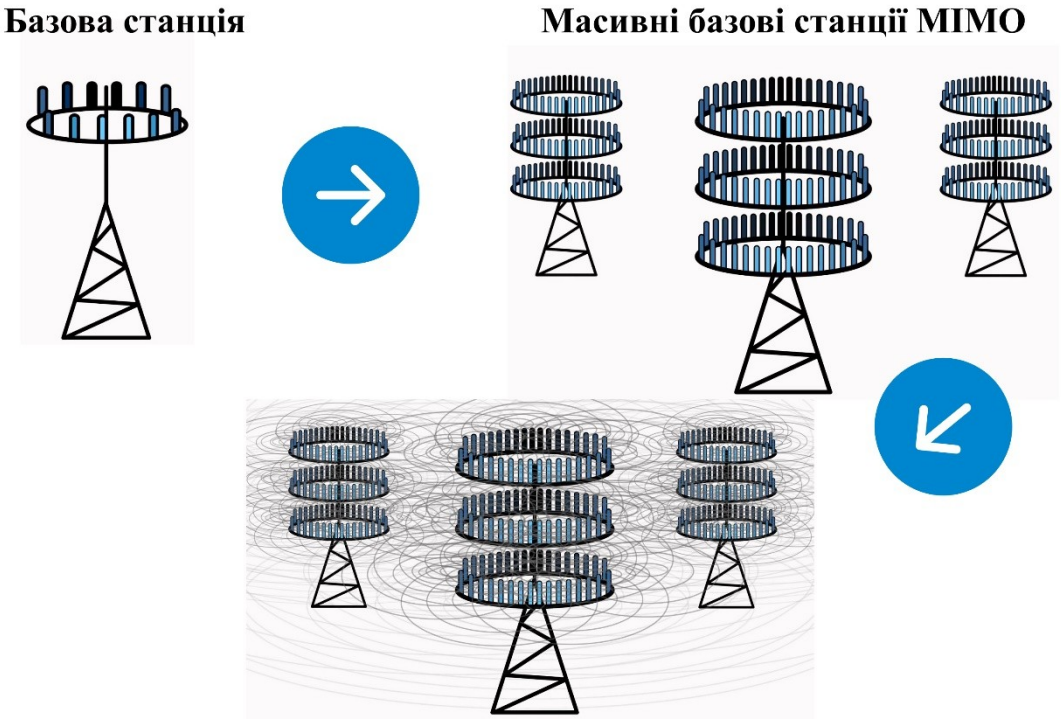


Рис. 3.4 Схематичне зображення 5G станцій з використанням Massive MIMO

Ця технологія називається Massive MIMO. Все починається з MIMO, що означає кілька входів і виходів. MIMO описує бездротові системи, які використовують два або більше передавача і приймача для одночасного надсилання та прийому більшої кількості даних. Massive MIMO виводить цю концепцію на новий рівень, пропонуючи десятки антен на одному масиві.

MIMO вже є на деяких базових станціях 4G. Але поки масивний MIMO був протестований тільки в лабораторіях і кілька польових випробувань. У ранніх тестах він встановив нові рекорди по ефективності використання

спектра, яка є мірою того, скільки біт даних може бути передано певній кількості користувачів в секунду.

Масивний MIMO виглядає багатообіцяючою технологією для майбутнього 5G. Однак встановлення більшої кількості антен для обробки стільникового трафіку також викликає більше перешкод, якщо ці сигнали перетинаються. Ось чому станції 5G повинні включати формування променя (Beamforming).

**Формування променя (Beamforming)**

Beamforming - це система сигналізації трафіку для базових станцій стільникового зв'язку, яка визначає найефективніший маршрут доставки даних до певного користувача і знижує перешкоди для користувачів які знаходяться поблизу. Залежно від ситуації і технології мережі 5G можуть реалізувати це кількома способами.

Рис. 3.5 Схематичне зображення роботи Massive MIMO та Massive MIMO у поєднанні з технологією Beamforming.

Формування променя може допомогти масивним масивів MIMO більш ефективно використовувати навколишній їх спектр (Рисунок 3.5). Основне завдання масивної MIMO - зменшити перешкоди при одночасній передачі більшої кількості інформації від великої кількості антен. На масивних

базових станціях MIMO алгоритми обробки сигналів прокладають кращий маршрут передачі по повітрю для кожного користувача. Потім вони можуть відправляти окремі пакети даних у багатьох різних напрямах, відображаючи їх від будівель і інших об'єктів в точно узгодженому порядку. За рахунок хореографії руху пакетів і часу прибуття, формування діаграми спрямованості дозволяє безлічі користувачів і антен масивного масиву MIMO обмінюватися набагато більшим обсягом інформації одночасно.

Для міліметрових хвиль формування променя в основному використовується для вирішення іншого набору проблем: сигнали стільникового зв'язку легко блокуються об'єктами і мають тенденцію слабшати на великих відстанях. У цьому випадку формування променя може допомогти, фокусуючи сигнал в концентрованому промені, який спрямований тільки в напрямку користувача, або пристрою а не транслює відразу в багатьох напрямках. Такий підхід може підвищити шанси сигналу на прибуття в незмінному вигляді і зменшити перешкоди для всіх інших.

Крім підвищення швидкості передачі даних за рахунок широкомовної передачі на міліметрових хвилях і підвищення ефективності використання спектра за допомогою масивного MIMO, інженери бездротового зв'язку також намагаються досягти високої пропускної здатності і низькою затримки, необхідних для 5G, за допомогою технології, званої полнодуплексной (Full Duplex), яка змінює спосіб доставки і прийому даних антенами.

**Повний дуплекс (Full Duplex)**

Сьогоднішні базові станції та мобільні телефони покладаються на приймачі, які повинні по черзі передавати і отримувати інформацію на одній і тій же частоті або працювати на різних частотах, якщо користувач бажає передавати і отримувати інформацію одночасно.

З 5G трансивер зможе передавати і приймати дані одночасно на одній і тій же частоті. Ця технологія відома як повний дуплекс, і вона може подвоїти

пропускну здатність бездротових мереж на їх найфундаментальнішому фізичному рівні: уявіть, як двоє людей розмовляють одночасно, але все ще можуть розуміти один одного - це означає, що їх розмова може зайняти вдвічі менше часу і їх наступне обговорення могло початися раніше.

Деякі військові вже використовують полнодуплексную технологію, засновану на громіздкому обладнанні. Щоб досягти повного дуплексу в особистих пристроях, дослідники повинні розробити схему, яка може маршрутизировать вхідні та вихідні сигнали, щоб вони не конфліктували, коли антена передає і приймає дані одночасно.

Це особливо складно через тенденцію радіохвиль поширюватися вперед і назад на одній і тій же частоті - принцип, відомий як взаємність. Але нещодавно фахівці зібрали кремнієві транзистори, які діють як високошвидкісні перемикачі, щоб зупинити зворотний рух цих хвиль, дозволяючи їм одночасно передавати і приймати сигнали на одній і тій самій частоті (Рисунок 3.6).

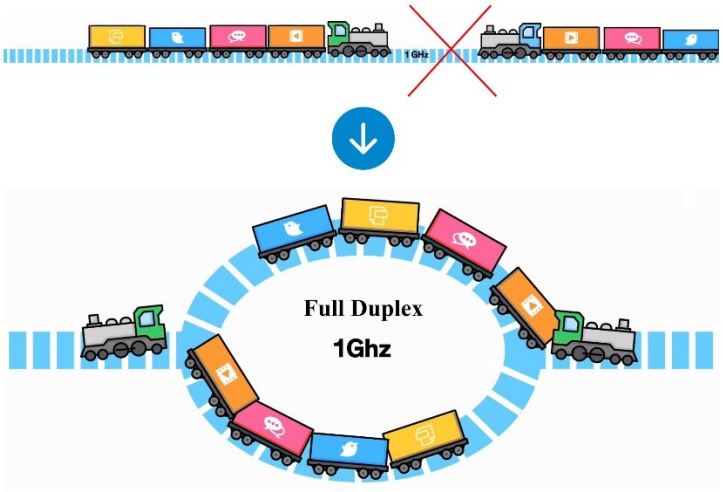


Рис. 3.6 Схематичне зображення роботи Full Duplex, одночасне передавання і приймання сигналів на одній і тій самій частоті.

Одним з недоліків полнодуплексного режиму є те, що він також створює більше перешкод сигналу через надокучливого відлуння. Коли передавач випромінює сигнал, цей сигнал знаходиться набагато ближче до антени телефону і, отже, більш потужний, ніж будь-який сигнал, який він

приймає. Очікувати, що антена буде одночасно говорити і слухати, можливо тільки за допомогою спеціальної технології придушення відлуння.

За допомогою цих та інших технологій 5G інженери сподіваються побудувати бездротову мережу, в якій майбутні користувачі смартфонів, геймери VR сидячи в своїх «розумних будинка» і автономні автомобілі, а також інфраструктура міста будуть покладатися кожен день на 5G. Дослідники і компанії вже покладають великі надії на 5G, обіцяючи споживачам надмалу затримку і рекордну швидкість передачі даних. Якщо вони зможуть вирішити проблеми, що залишилися і з'ясувати, як змусити всі ці системи працювати разом, надшвидкі послуги 5G можуть досягти споживачів в найближчі п'ять років [2].

На риуснку 3.7 представлена удосконалена архітектура «розумного будинку» за допомогою технології 5G з використанням описаних вище технологій.

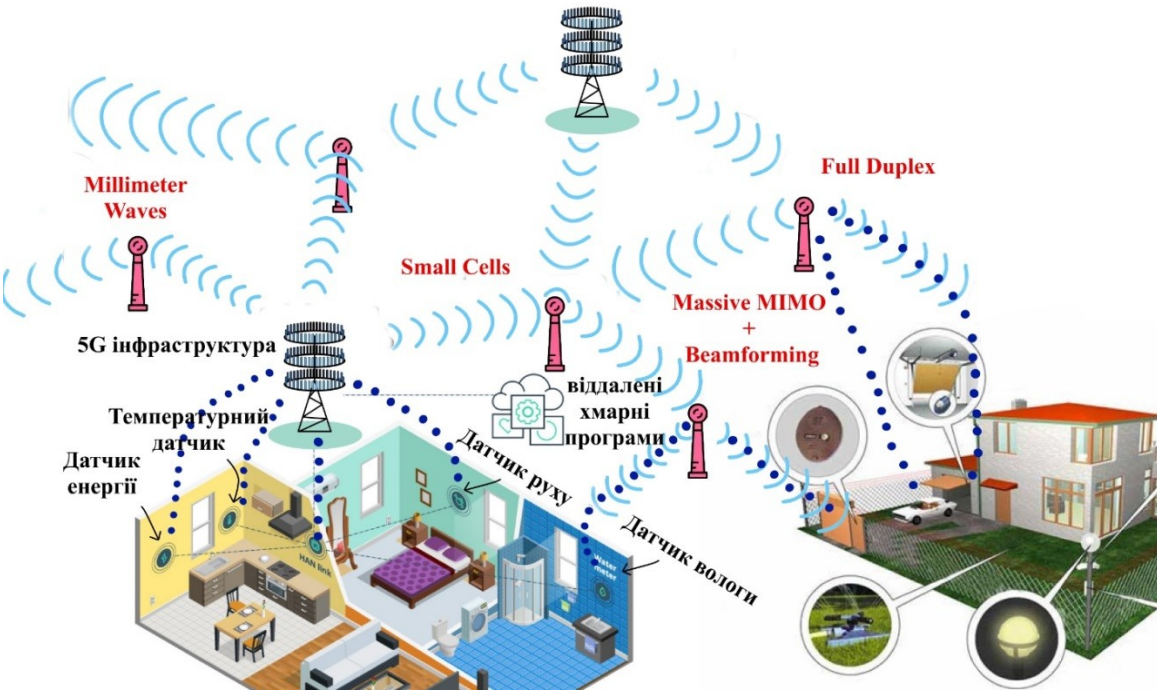


Рис. 3.7 Удосконалена архітектура «розумного будинку»

**Висновки**

У розділі розглядається питання щодо впливу п’ятого покоління стільникового зв’язку вже зараз та як і чому цей стандарт дуже скоро вийде на перший план, тобто замінить звичне вже нам Wi-Fi з’єднання. Зроблено порівняння 5G (для Wi-Fi мереж) з 5G (для стільникового зв’язку) та виявлено що дві це зовсім різні технології. Продемонстрована діаграма частот покриття мобільних мереж для будівель. Також для покращення функціонування мереж п’ятого покоління як загалом так і для розумного будинку побудованого на основі IoT розглянуто декілька технологій які вмрішують виникаючі проблеми, а саме Millimeter Waves – використання міліметрових хвиль які передаються на частотах від 30 до 300 ГГц, Small Cells - це портативні мініатюрні базові станції, які вимагають мінімальної потужності для роботи і можуть бути розміщені кожні 250 метрів по всьому місту.

Далі розглянули таку технолгію як Massive MIMO - це базові станції 5G які можуть підтримувати близько сотні портів а це значить, що на одному масиві може поміститися набагато більше антен. Ця можливість означає, що базова станція може відправляти і приймати сигнали від багатьох інших користувачів одночасно, збільшуючи пропускну здатність мобільних мереж в 22 рази або більше. Доповнює останюю технологію інша під назвою Beamforming - це система сигналізації трафіку для базових станцій стільникового зв'язку, яка визначає найефективніший маршрут доставки даних до певного користувача і знижує перешкоди для користувачів які знаходяться поблизу.

Та остання технологія Full Duplex - з 5G трансивер зможе передавати і приймати дані одночасно на одній і тій же частоті. Якщо об’єднати всі ці технології разом, то 5G стане самою вдосконаленою технологією на даний момент яка точно буде краще за звичну вже нам Wi-Fi мережу.

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Сучасний стан розвитку пристроїв та сервісів IoT має велику кількість питань, які потребують уваги. Для майбутніх стандартів важливо усунути недоліки існуючих механізмів безпеки, електроспоживання та інших факторів впливаючих на IoT. Треба розвивати мережеві протоколи, управління ідентифікаційними даними та стандартизацію.

В даній роботі був проведений детальний аналіз IoT, розглянуті головні сфери застосування сервісів IoT в середовищі розумного міста, розумного будинку і інших та розглянуті способи протистояння сьогоднішнім проблемам та їх вирішення. Розглянуті різні типи та види систем управління розумним будинком. В основному архітектури для розумного будинку будуються на проводовій основі або безпроводовій, було визначено покращити безпроводову архітектуру для розумного будинку шляхом заміни Wi-Fi обладнання на нову мережу п’ятого поколння стільникового зв’язку. Та щоб покращити показники системи та роботу пристроїв не залежно від сфери використання будь-то розумний будинок у якому всі датчики «спілкуються» один з одним, обмінюючись інформацією та напряму зв’язані 5G мережею, яка ретранслюється на все місто за допомогою технологій які розглянуті у третьому розділі, в якому визначено, що найкраще використовувати синетез технологій – в нашому випадку це поєднання технологій Millimeter Waves, Small Cells, Massive MIMO, Beamforming, Full Duplex для того щоб 5G стільникова мережа замінила Wi-Fi обладнання, яке функціонує зараз. Дана технологія буде ліпшим аналогом та може змінити сферу IoT:

По-перше, переваги використання нових технологій завжди превалюють над потенційними негативними проявами - просто треба їх обмежувати і контролювати. Масове впровадження мереж 5G відбудеться дуже швидко, і ми будемо з подивом згадувати часи, коли забезпечувані ними інформаційні сервіси (відео високої роздільної здатності, віртуальна і доповнена реальність, системи діагностики і управління, смарт-транспорт,

телемедицина, розумні будинки і міста та багато іншого) потребували плутанини проводів.

По-друге, з появою мереж п’ятого покоління тарифні плани будуть дешевіти у зв’язку з конкуренцією. Оскільки зараз кожна людина живучи у квартирі або у власному будинку спласує окремо послуги інтернет провайдеру за доступ до інтернету, та окремо сплачує за мобільний зв’язок, можна зробити висновок, що коли швидкісь, пропускна здатність та інші характеристики стільникового зв’язку будуть удосконалені такими технологіями які були розглянуті, та можна зауважити що вже зараз енергоефективність та безпека даних краща у мережах 5G, то люди почнуть переходити на мобільні мережі як на єдиний достууп до інтернету, адже з впровадженням вишок 5G та розгортанням мережі будуть будувати розумні міста з розумними будинками які будуть повністю покриті мережею.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Evans, D. (2011). The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. CISCO white paper 1 (2011): 1–11.

2. Sage Business Researchermore than 28 billion devices connect via internet of things. Режим доступу до ресурсу: http://businessresearcher.sagepub.com/sbr-1863-102197-2772812/20170306/morethan-28-billion-devices-connect-via-internet-of-things. (accessed 17 July 2019).

1. Liyanage, M., Ahmad, I., Abro, A.B. et al. (2018). A Comprehensive Guide to 5G Security. New York: John Wiley & Sons.

2. Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P. and Georgakopoulos, G. (2014). Context aware computing for the Internet of Things: A survey. IEEE Communications Surveys Tutorials 16 (1): 414–454.

3. Guillemin, P. and Friess, P. (2009). The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture. The Cluster of European Research Projects, Technical Report.

4. Gigli, M. and Koo, S.G. (2011). Internet of things: Services and applications categorization. Advanced Internet of Things 1 (2): 27–31.

5. Ericsson Working Group. (2016). Cellular Networks for Massive IoT. Ericsson White Paper. Режим доступу до ресурсу: https://www.ericsson.com/en/white-papers/cellular-networks-for-massive-iot& ndash;enabling-low-power-wide-area-applications (accessed 16 July 2019).

6. Lu, Y., Papagiannidis, S. and Alamanos, E. (2018). Internet of things: A systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. Technological Forecasting and Social Change 136: 285–297.

7. Stojkoska, B.L.R. and Trivodaliev, K.V. (2017). A review of internet of things for smart home: Challenges and solutions. Journal of Cleaner Production 140: 1454–1464.

8. Zaidan, A.A., Zaidan, B.B., Qahtan, M. et al. (2018). A survey on communication components for iot-based technologies in smart homes. Telecommunication Systems 69 (1): 1–25.

9. Adapa, S. (2018). Indian smart cities and cleaner production initiatives–integrated framework and recommendations. Journal of Cleaner Production 172: 3351–3366.

10. Alavi, A.H., Jiao, P., Buttlar, W.G. and Lajnef, N. (2018). Internet of things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. Measurement 129: 589–606.

11. Reka, S.S. and Dragicevic, T. (2018). Future effectual role of energy delivery: A comprehensive review of internet of things and smart grid. Renewable and Sustainable Energy Reviews 91: 90–108.

12. Porambage, P., Manzoor, A., Liyanage, M., et al. (2019). Managing mobile relays for secure e2e connectivity of low-power IoT devices. IEEE Consumer Communications & Networking Conference, 2019, Las Vegas, USA (11–14 January 2019). IEEE.

13. Munster, G. and Bohlig, A. (2017). Auto Outlook 2040: The Rise of Fully Autonomous Vehicles. Loupventures. Режим доступу до ресурсу: https://loupventures.com/auto-outlook-2040- the-rise-of-fully-autonomous-vehicles/ (accessed 16 July 2019).

14. IoT in the Automotive Industry. Tata Communications (2018). Режим доступу до ресурсу: https://www.tatacommunications.com/wp-content/uploads/2018/02/IOT-IN-THEAUTOMOTIVE-INDUSTRY.pdf (accessed 16 July 2019).

15. Sun, H., Zhang, Z., Hu, R.Q. and Qian, Y. (2018). Wearable communications in 5g: challenges and enabling technologies. IEEE Vehicular Technology Magazine 13 (3): 100–109.

16. Lin, J., Yu, W., Zhang, N. et al. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. IEEE Internet of Things Journal (99): 1–1.

17. Wu, M., Lu, T.-J., Ling, F.-Y. et al. (2010). Research on the architecture of internet of things. In 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), Chengdu, China (20–22 August 2010). IEEE.

18. Khan, R., Khan, S.U., Zaheer, R. and Khan, S. (2012). Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. 2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology, Islamabad, Pakistan (17–19 December 2012). IEEE.

19. Bauer, M., Boussard M., Bui, N. et al. (2013). Deliverable D1.5 Final architectural reference model for the IoT v3.0. IoT-A Consortium. Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/wdam

20. Weyrich, M. and Ebert, C. (2016). Reference architectures for the internet of things. IEEE Software 33 (1): 112–116.

21. Platform Industrie. (2015). Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Platform Industrie. Режим доступу до ресурсу: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/ Publikation/rami40-an-introduction.pdf?__blob (accessed 16 July 2019).

22. Shin, S.-W., Crawford, M., and Mellor, S. (eds) (2017). The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture. 1–58. Industrial Internet Consortium (IIC). Режим доступу до ресурсу: https://www.iiconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf (accessed 16 July 2019).

23. Gazis, V. (2017). A survey of standards for machine-to-machine and the internet of things. IEEE Communications Surveys Tutorials 19 (1): 482–511.

24. Kae, V.P., Fukushima Y. and Harai, H. (2016). Internet of things standardization ITU and prospective networking technologies. IEEE Communications Magazine 54 (9): 43–49.

25. IEEE. (2012). IEEE standard for local and metropolitan area networks-part 15.4: Low-rate wireless personal area networks (lr-wpans)

amendment 1: Mac sublayer. IEEE Std 02.15.4e-2012 (Amendment to IEEE Std 802.15.4-2011), 1–225.

26. Smart Home products with Z-Ware. Z-wave Technology. Режим доступу до ресурсу: https://www.z-wave.com/ (accessed 16 July 2019).

27. LoRAWAN specifications, LoRa Alliance Technology. Режим доступу до ресурсу: https://lora-alliance.org/resource-hub/lorawanr-specification-v11 (accessed 16 July 2019).

28. WiSun Alliance (2017). Comparing IoT Networks at a Glance: How Wi-SUN compares with LoRaWAN and NB-IoT. WiSUN technical White paper. Режим доступу до ресурсу: www.wi-sun.org/wp-content/uploads/Wi-SUN-Comparing-IoT-Networks.pdf (accessed 16 July 2019).

29. Правило В. В., Хижняк О. П. «Технологія 5G і її вплив на інтернет речей». Збірник матеріалів XV Міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи телекомунікацій 2021". Київ: 2021. С. 164-166.

30. “The Long Goodbye of Wi-Fi Has Begun”. Режим доступу до ресурсу: https://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/the-long-goodbye-of-wifi-has-begun.

31. “Різниця між 5G та 5G”. Режим доступу до ресурсу: https://talkingpointz.com/the-difference-between-5g-and-5g/

32.Правило В. В., Хижняк О. П. «Аналіз розвитку мобільних мереж п'ятого покоління в Україні». Збірник матеріалів XIII Міжнародної науково-технічної конференції для студентів та аспірантів "ПРІТС 2021". Київ: 2021.