

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПЗВО «МІЖНАРОДНИЙ КЛАСИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ПИЛИПА ОРЛИКА»
Економіко-технологічний факультет
Кафедра інженерних технологій

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітнього ступеня магістра
за освітньою програмою «Комп'ютерна інженерія»
зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»
на тему: **«УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ»**

Виконав:
здобувач II курсу, групи КІ -20-24
Перепелиця Артем Вікторович

Керівник:
д. е., н., проф., професор кафедри інженерних технологій
Гарькава Вікторія Федорівна

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних посилань.

Михайло ВЕЛИКИЙ

Миколаїв – 2024

АНОТАЦІЯ

Роботу присвячено підвищенню ефективності роботи систем управління приладами будинку за допомогою використання хмарних технологій. В роботі проведено аналіз існуючих систем «розумного» будинку та найбільш поширені функції, а саме: функції системи безпеки, оптимізації енерговитрат, керування освітленням, терморегуляції.

На основі вищезазначеного аналізу сформовано вимоги до розроблення базових функцій систем «розумного» будинку, а саме: висока точність результатів автоматизованого передбачення, можливість обробки великих об'ємів даних та можливість автоматизованого масштабування системи під час різкого підвищення навантаження на систему.

Проаналізовано базові елементи для синтезу програмних та апаратних засобів збору і опрацювання даних в системах «розумного» будинку та інтерфейси комунікації між ними. Визначено їх переваги і недоліки та особливості їх практичного використання. На основі проведеного аналізу сформовано вимоги до системи «розумного» будинку.

Розроблено моделі роботи приладів будинку на основі мереж Петрі, а саме моделі станів роботи підсистеми управління освітлювальними приладами помешкання, моделі станів роботи підсистеми моніторингу руху у помешканні, моделі станів роботи підсистеми клімат-контролю у помешканні.

Розроблено програмне та інформаційне забезпечення синтезу елементів системи управління приладами будинку, яка написана на мові JavaScript з використанням технології NodeJS.

Ключові слова: інформаційна технологія, хмарні обчислення, алгоритм штучної нейронної мережі, клієнт-серверна архітектура, ієрархічні мережі.

ABSTRACT

The work is devoted to increasing the efficiency of home appliance control systems using cloud technologies. The paper analyzes the existing systems of the "smart" house and the most common functions, namely: functions of the security system, optimization of energy consumption, lighting control, thermoregulation.

On the basis of the above analysis, the requirements for the development of the basic functions of the "smart" house systems were formed, namely: high accuracy of the results of automated prediction, the possibility of processing large volumes of data, and the possibility of automated scaling of the system during a sharp increase in the load on the system.

The basic elements for the synthesis of software and hardware means of data collection and processing in "smart" home systems and communication interfaces between them are analyzed. Their advantages and disadvantages and features of their practical use are determined. Based on the analysis, the requirements for the "smart" house system were formed.

Models of operation of house devices based on Petri nets were developed, namely models of operation states of the home lighting control subsystem, models of operation states of the motion monitoring subsystem in the house, models of operation states of the climate control subsystem in the house.

The software and information support for the synthesis of the elements of the home appliance control system, which is written in the JavaScript language using NodeJS technology, has been developed.

Keywords: information technology, cloud computing, artificial neural network algorithm, client-server architecture, hierarchical networks.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ.....	7
1.1 Аналіз ринку систем «розумного» будинку	7
1.2 Аналіз існуючих моделей та методів систем «розумного» будинку з використанням алгоритмів штучного інтелекту	10
1.3 Недоліки та проблеми впровадження використання існуючих систем «розумного» будинку.....	19
РОЗДІЛ 2. ЗАПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ, МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ	27
2.1 Розроблення методу роботи системи «розумного» будинку у помешканні.....	27
2.2 Моделі роботи приладів будинку на основі мереж Петрі.....	35
2.3 Методи автоматизованого управління приладами будинку за допомогою роботи алгоритмів штучного інтелекту	43
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПРИЛАДАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ	50
3.1 Особливості розроблення програмного забезпечення інформаційної технології ...	50
3.2 Розроблення інформаційного забезпечення програмних засобів.....	58
3.3 Розроблення архітектурного рішення та процесу розгортання розробленої системи «розумного» будинку	66
3.4 Результати дослідження.....	70
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ВСТУП

Актуальність теми. Серед готових програмних продуктів у сфері управління приладами будинку переважають розробки для керування приладами за допомогою смартфона користувачами власноруч і практично відсутні рішення з автоматизації прийняття рішень управління технікою, що є перспективним напрямком для розробки та запровадження використання штучних нейронних мереж. Звідси виникає потреба у засобах, які реалізують механізм автоматизованого прийняття рішень системами «розумного» будинку для забезпечення комфорту мешканців та підвищення показників енергоефективності без втручання користувачів системи. Актуальність дисертаційної роботи полягає у розвитку розробок систем «розумного» будинку з використанням хмарних обчислень, що забезпечують можливість широкого масштабування та зменшення витрат на запровадження розроблених систем управління.

Метою роботи є розвиток методів та засобів розробки інформаційних технологій управління приладами будинку з використанням хмарних обчислень та штучних нейронних мереж.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

- Провести аналіз існуючих методів, моделей та засобів управління приладами «розумного» будинку;
- Проаналізувати існуючі моделі та методи систем «розумного» будинку з використанням алгоритмів штучного інтелекту;
- Виявити недоліки та проблеми впровадження використання існуючих систем «розумного» будинку;
- Розробити методи роботи системи «розумного» будинку у помешканні;
- Проаналізувати моделі роботи приладів будинку на основі мереж Петрі;
- Проаналізувати методи автоматизованого управління приладами будинку за допомогою роботи алгоритмів штучного інтелекту;
- Проаналізувати особливості розроблення програмного забезпечення інформаційної технології;

- Розробити інформаційне забезпечення програмних засобів;
- Розробити архітектурного рішення та процесу розгортання розробленої системи «розумного» будинку.

Об'єктом дослідження є процес управління системою «розумного» будинку.

Предметом дослідження є методи моделі та засоби управління системою «розумного» будинку.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ

1.1 Аналіз ринку систем «розумного» будинку

Останніми роками ми бачимо, як завдяки тому, що мільярди пристроїв та інформаційних систем починають бути зв'язаними між собою, люди отримують більшу користь у своєму повсякденному житті, а робота комерційних компаній стає більш ефективною завдяки можливості мінімізувати їх експлуатаційні витрати та збільшувати ефективність використання їхніх активів. ІТ буде застосовуватись паралельно з алгоритмами штучного інтелекту (AI) так як з'єднання мережею окремих пристроїв зміщує фокус розробки систем «розумного» будинку останніх років від централізованих хмарних обчислень до децентралізованого.

Крива Курцвейла [1] передбачає експотенційне зростання використання машинного інтелекту і очікує появу передових обчислювальних платформ для роботи штучного інтелекту рівного людському мозку протягом десяти років. Ця можливість в першу чергу завдячує таким факторам як експотенційне збільшення об'єму даних, які генеруються пристроями IoT, багаторазовому збільшенню обчислювальної потужності, вдосконаленню алгоритмів штучного інтелекту, компактним форм-факторам приладів IoT та низькому рівню споживання ними енергії. Сукупність цих факторів підвищує можливість використання алгоритмів штучного інтелекту у багатьох категоріях присторів IoT.

Очікується, що ринок IoT стабільно зростатиме тому, що мільярди пристроїв та інформаційних систем стають зв'язаними між собою мережею, в основному завдяки все більшому поширенню дешевих датчиків, які перетворюють фізичні події у дані в цифровому вигляді. Використання приладів IoT, які розроблені для економії витрат пального, контролю споживання енергії та ефективності робочих процесів часто сприяють значному позитивному впливу на фінансові витрати та скорочення термінів

окупності бізнесів, що запроваджують їх використання. У статистиці глобального ринку, очікується, що витрати на IoT будуть щорічно зростати [2].

Існує припущення, що пристрої IoT по всьому світу будуть генерувати 90 зеттабайт [3] даних до 2025 року. Дані генеруються безпосередньо датчиками або через проміжні шлюзи, що використовуються для об'єднання датчиків у окремі групи. Далі згенеровані дані пересилаються до централізованих платформ, які об'єднують, обробляють, зберігають, аналізують та візуалізують ці дані для пошуку взаємозалежностей та підвищення на їх основі ефективності роботи побутових чи робочих процесів. Централізована архітектура надає можливість використовувати великонавантажені обчислення та централізоване зберігання даних, що позитивно впливають на збільшення оперативності та ефективності роботи систем. Однак використання централізованої архітектури збільшує затримку між процесами обміну даними, збільшує час затримки виконання дій, є менш стійкими до екологічних катастроф та більш вразливими до хакерських атак. Також централізовані архітектури є дорожчі при масштабуванні (наприклад, під час створення нових центрів опрацювання даних у нових географічних зонах) і зазвичай розробляються з використанням обладнання, у якого відсутня універсальність для виконання вузькоспеціалізованих завдань. Ці недоліки сприяють еволюції обчислювальних платформ з переходом від централізованої архітектури до розподіленої або децентралізованої архітектури з фокусом на хмарні обчислення та можливості AI [3].

«Розумні» будинки та автоматизація побутових процесів - неоднозначні терміни, які використовуються для опису широкого спектру рішень для контролю, моніторингу та автоматизації процесів у будинку. Для того, щоб називатися «розумним» за визначенням Берга Інсайта від інформаційних систем вимагається мати додаток для смартфонів або веб-портал, що застосовуватиметься як користувацький інтерфейс системи. Тому пристрої якими можна керувати лише за допомогою перемикачів, таймери, датчики та пульти дистанційного керування, згідно цій вимозі не входять до групи «розумних» приладів. Складові системи розумного будинку можна поділити на

шість основних категорій: системи безпеки та контролю доступу; управління електроенергією і системи контролю температурним режимом; аудіовізуальні та розважальні системи; системи управління освітленням та жалюзями/шторами; системи охорони здоров'я; побутова техніка та роботизація.

В порівнянні з комплексними системами, локальні рішення генерують 61 відсоток прибутку ринку «розумних» приладів на Півночі Америки та у Європі. З точки зору продаж, найуспішнішими рішеннями на сьогодні є «розумні» термостати, «розумні» лампи, смарт розетки, мережеві камери, багатокімнатні аудіосистеми, а також керовані голосом розумні колонки. Ці товари постачають такі великі виробники, як Signify, Honeywell, Danfoss, Belkin, Chamberlain, Квіксет, а також постачальники інформаційних послуг, такі як Altice France та Centrica [3]. Новими учасниками ринку «розумних» побутових технологій є такі компанії та стартапи як Nest, Ecobee, Sonos, Canary, Proove, Netatmo, ІКЕА, Velux і D-Link [3]. У цілому на ринку комплексних систем, традиційні виробники систем автоматизації побутових процесів, такі як Crestron Electronic, Control4, Gira та Jung стикаються з потужною конкуренцією з боку компаній суміжних галузей, що тільки вийшли на цей ринок. Постачальники послуг зв'язку та безпеки, такі як ADT, Vivint, Comcast, Brinks Home Security (раніше MONI / Monitronics) та AT&T стали найбільшими постачальниками рішень у Північній Америці. Основними виробниками у Європі є eQ-3, Deutsche Telekom, Verisure, Somfy, Innogy та Loxone. «Розумні» колонки із вбудованими голосовими помічниками створили великий вплив на галузь «розумних» будинків. Amazon та Google - це найбільші постачальники цих пристроїв, що спільно мають частку ринку понад 90 відсотків. Протягом останніх років багато хто з відомих постачальників пристроїв та систем «розумних» будинків зробили свою продукцію сумісною з Amazon Alexa та Google Assistant [4], тому все більше і більше споживачів бачать переваги та зручність використання смарт-динаміків як основного інтерфейсу систем «розумного» будинку замість використання смартфонів чи веб-інтерфейсів. Тому частково високе зростання показників ринку систем «розумних» будинків може завдячувати популярності смарт-колонок.

Отже, попит на ринку систем «розумних» будинків зазнає різких змін внаслідок швидкого розвитку продажів та розробки і застосування нових технологій на які спостерігається великий попит споживачів, що зацікавлені у створенні з їх допомогою комфортних умов побуту та економії фінансових витрат.

1.2 Аналіз існуючих моделей та методів систем «розумного» будинку з використанням алгоритмів штучного інтелекту

В останні роки розвиток технологій «розумного» дому сприяв переходу від традиційного розуміння будинку до «розумного», підключеного до глобальної мережі Інтернет. «Розумний» будинок - це оселя, обладнана технологіями, які включають датчики, провідні та бездротові мережі, актюатори та інтелектуальні системи [5, 6, 7, 8]. Завдяки оснащенню високотехнологічними автоматичними системами, «розумні» будинки можуть моніторити та контролювати активність у будинку для зручності мешканців, забезпечують мешканцям кращий комфорт і можуть зменшувати споживання енергії. Технології «розумного» будинку збирають та аналізують дані домашнього середовища. Вони також передають корисну інформацію користувачам та розширюють можливості управління різними домашніми системами [9]. Штучний інтелект за допомогою будь-якого під'єданого пристрою, що має можливість сприймати параметри оточення реального світу, вживає дії, які максимізують шанс на успішне досягнення поставлених перед ним розробниками цілей у побутовому плані [10, 11]. Ідеальний рівень розвитку штучного інтелекту до якого намагаються дійти розробники систем «розумного» будинку – це мислення на рівні людини, думаючи раціонально та діючи по-людськи. [11, 12]

Під час проведення аналізу літературних джерел, було знайдено декілька вичерпних наукових статей щодо застосування технології AI у системах «розумних» будинків. Було вибрано дев'ять монографій, пов'язаних з інтелектуальними системами спостереження у «розумному» будинку [13], які вказують на те, що багато дослідників в області обробки зображень та AI-спільноти зосередилися на напрямку обробки

зображень та відео аналізі [11]. Деякі з дослідників вивчають філософські основи розуміння штучного інтелекту та пояснюють, як це розуміння може допомагати науковцям співпрацювати з інженерами по розробці «розумних» будинків, основною функцією яких є позитивний вплив на здоров'я користувачів [14]. У згаданій роботі були розглянуті типи систем домашньої автоматизації, а також як такі системи можуть використовувати інструменти AI. У інших дослідженнях співавтори визначили основні сфери застосування систем «розумного» будинку, такі як комфорт життя мешканців, віддалене управління побутовими приладами, оптимальне використання енергоресурсів та засоби безпеки будинку. У «розумних» системах роль AI виконує база даних знань і правил, програмний модуль прийняття рішень, та контроллери пристроїв [15]. Існують деякі публікації, що розглядають застосування технології AI у «розумних» будинках. Існують дослідження у яких розглянуто інтеграція мікроконтролера Raspberry Pi у взуттєву шафу, що дає змогу побачити список наявного у ній взуття, автоматично керувати зберіганням взуття, і рекомендувати найкращий варіант взуття, що підходить для різних визначених задалегідь подій. Система рекомендує найкращий варіант взуття, якщо було введено інформацію про тип одягу та подію. Автоматичне зберігання взуття було реалізовано за допомогою отримання даних від сенсора та можливістю керування скринькою у яку користувачі складають своє взуття, а також інтегрованим Raspberry Pi [16]. Також, у рамках досліджень був розроблений симулятор будинку, який використовувався як "експертна системна оболонка" для надання рекомендацій щодо кращого управління енергією та її збереження у «розумних» будинках завдяки впровадженню та налаштуванню алгоритму моніторингу, дослідження та адаптації (OLA) [17].

Технологія AI також використовується в окремих приладах «розумного» будинку. AI у «розумних» будинках поділяють на шість основних груп функцій, такі як розпізнавання процесів життєдіяльності, опрацювання зібраних даних, розпізнавання голосу, розпізнавання зображень, прийняття рішень та прогнозування. В аспекті розпізнавання процесів життєдіяльності, «розумні» пристрої у домі можуть розпізнавати види діяльності людини за допомогою ШІ. Він аналізує дані сенсорів для виявлення дій

людей і визначає, коли відбувається неочікувана активність у будинку. Розпізнавання активності мешканців використовується в системах Hive Link and Essence Care@Home. З точки зору опрацювання даних, AI ґрунтується на методах аналізу даних, збору інформації з різних джерел даних та виявлення внутрішніх взаємозв'язків між даними. Обробка даних за допомогою AI використовується у системах August Smart Lock + Connect та Nest Protect. Розпізнавання голосу за допомогою AI дозволяє людям взаємодіяти з системами, спілкуючись звичайною мовою. Наприклад це надає можливість, питати систему про погоду, замовляти товари в Інтернеті або викликати таксі. Розпізнавання голосу використовується в системах Amazon Alexa, Google Home, Ivey Sleek, Jibo, Athom Homey, Apple HomePod, Josh Micro, і т.д [17]. Розпізнавання зображень за допомогою AI використовується для розпізнавання людських облич, розпізнавання емоцій та біометрики. Штучний інтелект може спостерігати та аналізувати поведінку людини, а також фізичні аспекти будови та форми тіла. Такий підхід використовується в системах Lighthouse, Nest Cam, Honeywell Smart Home Security System, Tend Secure Lynx Indoor Camera, Canary All-In-One, Netatmo Welcome Indoor Security Camera, тощо [15]. Керуючись показниками датчиків розташованих у приміщеннях, застосування AI допомагає приймати швидкі та правильні рішення для забезпечення безпеки у будинку навіть під час відсутності жителів помешкання [15]. Наприклад, у системі інтелектуальної безпеки, якщо камера виявить незнайомця який проникає у будинок, система спрацьовує гучним сигналом і надсилає оповіщення на телефони користувачів, або ж система може автоматично зателефонувати у поліцію. Такі системи повинні бути досить швидкими з точки зору реакції реагування та їх ефективності. Також штучний інтелект застосовується у для керування жалюзіями та фіранками Arlo Ultra, Ecobee4, VELUX тощо [17, 18]. Функції прогнозування систем «розумного» будинку за допомогою ШІ тісно взаємодіють з датчиками, які безперервно генерують дані, коли мешканці виконують свої щоденні дії. Дані від датчика передаються мережею та зберігаються у базі даних, яку повинен опрацювати програмний модуль, що оперує корисними знаннями, такими як шаблони, прогнози та тенденції. На основі цієї інформації система «розумного»

будинку може вибирати та автоматизувати дії для досягнення поставлених перед нею користувачами цілей [19]. Такий підхід застосовується в термостаті Nest, Olly, Viaroom home тощо.

На сьогоднішній день є доступними для вільного придбання та використання багато «розумних» побутових пристроїв та систем, але у більшості вони характеризуються низьким рівнем комплексної інтеграції у системи «розумного» будинку, так як призначені для вирішення однієї конкретної задачі (визначення одного параметра середовища, керування окремим приладом, тощо) без можливості передачі інформації і взаємодії з іншими приладами. Однак, було реалізовано невелику кількість спроб розробити системи «розумного» будинку, рівень автоматизації процесів яких відповідав би рівню виконання аналогічних завдань людиною [20, 21].

Як ми бачимо з Рисунка 1.1, який відображає інтерес впродовж проміжку часу на основі сервісу Google Trends, на якому можна побачити, що розробка систем «розумного» будинку - це галузь, яка показує швидке та стабільне зростання.

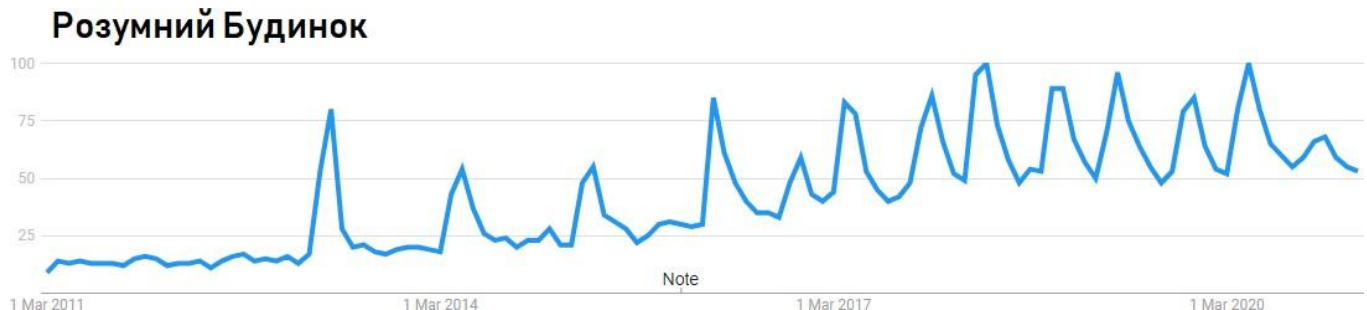


Рис. 1.1. Графік популярності пошукових запитів

Штучний інтелект може поєднуватися з технологією «розумного» будинку, для того щоб стати інноваційним інструментом. Однак тільки у кількох дослідженнях розглядаються поєднання технології AI та технології «розумного» будинку, а поєднання наукової літератури та наявних технічних продуктів також не було розглянуте у повній мірі. «Розумні» будинки також потрібно розглядати з точки зору архітектури. Цей аналіз дав змогу з'ясувати тенденції технологій та продуктів «розумного» будинку, що на протязі останнього десятиріччя показують стабільні результати зростання кількості

розроблених нових приладів та об'ємів їх продажів. Також, було визначено взаємозв'язок між науковими роботами, що досліджують актуальність та експериментально підтверджують можливість застосування нових розроблених методів та продукцією в цій галузі, розробники яких використовують наукову складову досліджень у механізмах роботи створених продуктів для забезпечення роботи нового функціоналу, який є корисним та цікавим кінцевим користувачам.

Під час другого етапу аналізу літератури було вибрано 20 публікацій з декількох областей застосування «розумних» будинків. З результатів аналізу було виділено п'ять основних областей застосування систем «розумного» будинку: управління побутовими приладами, контроль споживання енергії, охорона здоров'я, інтелектуальна взаємодія між людиною і системами «розумного» будинку та системи безпеки.

Завдяки прогресу технологій, кількість електронних приладів у будинку зростає, а сценарії роботи стають все більш складними. Тому набуває розвитку ідея, коли AI зможе допомогти користувачам автоматично керувати побутовими приладами. Деякі дослідники впроваджували методи штучного інтелекту у системи «розумного» будинку для контролю та управління приладами для отримання оптимальних показників ефективності використання освітлювальних приладів, а також налаштувань температурного режиму [22]. Інтелектуальний контроль у системі «розумного» будинку також можна реалізувати, зібравши дані з мережі сенсорів, проаналізувавши попередню поведінку користувачів [23], або шаблони їхніх дій застосовуючи алгоритм логістичної класифікації на основі TensorFlow [24] з використанням AI. Централізоване управління може надавати автоматизовані рішення, що відносяться до моніторингу, поліпшення комфорту життєдіяльності користувачів системи, налаштуванню оптимальних умов життя та надання необхідної інформації користувачам [25].

З точки зору «розумного» керування споживанням енергії у будинку, досягнення у цій сфері стають все більш важливими і нагальними. Люди з різних галузей наполегливо працюють над способами і методами зниження рівня споживання енергії та підвищення енергоефективності. Координуючи налаштування приладів у системах «розумного» будинку можна досягти більшої ефективності споживання енергії [26].

Шаблони споживання енергії та їх взаємозв'язок із чинниками навколишнього середовища можуть бути проаналізовані ШІ для прогнозування майбутнього попиту щоденного споживання електроенергії [27]. AI може допомогти системі «розумного» будинку у визначенні манери споживання енергії користувачами з метою підтримки комфортних налаштувань приладів у будинку та одночасного зменшення споживання енергії [28]. Розпізнавання діяльності мешканців будинку за допомогою ШІ також може допомогти знайти зв'язки між діями користувачів та споживанням енергії побутовою технікою, а потім дати рекомендації користувачам щоразу, коли буде виявлене неефективне використання електроенергії [29].

З точки зору інтелектуального догляду за здоров'ям користувачів, завдяки поступовому збільшенню тривалості життя людей, питання охорони здоров'я мешканців похилого віку стають все більш важливими. Використання методів машинного навчання та штучного інтелекту у поєднанні з даними сенсорів у будинку дозволяють відстежувати та виявляти зміни у поведінці мешканців та зміни в їхньому способі життя [30]. Застосовувавши алгоритм кластеризації, алгоритм штучної рекурентної нейронної мережі та генетичний алгоритм, системи AI можуть постійно моніторити поведінку людей похилого віку в «розумних» будинках та відправляти повідомлення їхнім опікунам за наявності будь-яких виявлених неочікуваних дій [31, 32]. Для можливості допомогти дорослим з когнітивними порушеннями самостійно здійснювати діяльність у повсякденному житті, «розумні» помічники повинні завчасно визначати особливості поведінки дорослих для автоматизованого виконання додаткових дій, що не можуть бути виконаними мешканцями будинку особисто через фізичні обмеження [33].

З точки зору інтелектуальної взаємодії розумного будинку і людини, завдяки збільшенню кількості «розумних» побутових приладів, більш ефективна інтелектуальна взаємодія може допомогти користувачам відчувати себе комфортніше під час перебування у будинку. Більше не має потреби підходити до кожного окремого пристрою, щоб змінити його налаштування вручну. Більшість дослідників використовували алгоритми штучної нейронної мережі для класифікації вхідних даних, які поступали від користувачів для створення природного діалогу та надаючи

користувачам можливість керувати побутовими приладами за допомогою голосових чи текстових команд [34, 35]. Розпізнавання голосу на основі AI забезпечує функції взаємодії з системами розумного будинку, що дозволяє користувачам мати повний контроль над домашнім середовищем [36]. Розпізнавання зображень також допомагає розуміти жести людей [37]. Взаємодія людини та комп'ютера на основі жестів є природним і інтуїтивно зрозумілим способом комунікації. Люди з порушеннями мови можуть спілкуватися з «розумними» побутовими приладами за допомогою жестів [38].

З точки зору безпеки «розумного» будинку, з метою захисту власності та особистої безпеки мешканців, потрібно захистити будинок від несподіваних подій та аварій. Штучний інтелект для розпізнавання зображень може розпізнати зловмисника та попередити власника будинку [39, 40]. Крім небезпек, що приходять з боку злочинців, існують також небезпека від виділення CO₂, пожежі тощо. Можна використовувати AI для аналізу даних датчиків і виявляти небезпечні ситуації [41].

Технології AI, системи «розумних» будинків та користувачі мають різні моделі взаємодії, які поділяються на три. Перша модель, коли користувачі безпосередньо дають команди для кожного «розумного» побутового пристрою, а штучний інтелект вбудований у кожен окремий пристрій. Такий підхід приносить користь тільки окремому конкретному пристрою. «Розумне» управління будинком, охорона здоров'я та питання безпеки надають перевагу цьому підходу. Друга модель, коли користувачі задають інструкції AI, а AI самостійно контролює кожен окремий пристрій. Управління побутовими приладами у системах «розумного» будинку переважно працює за цією схемою. В ідеалі, система повинна забезпечувати постійний процес навчання з урахуванням можливостей зміни поведінки користувачів. В рамках аналізу були досліджені методи та моделі, що використовуються у системах «розумного» будинку для розпізнавання діяльності та аналізу поведінки користувачів системи.

Методи та моделі AI, що використовуються у системах «розумного» будинку можна поділити на три типи: інтелектуальні агенти, нечітка логіка та машинне навчання. Інтелектуальні агенти відносяться до програмних комп'ютерних систем, які здатні реагувати на зміну середовища, мають здібності кооперації з іншими агентами та

придатні для детального моніторингу у системах «розумних» будинків [42, 43]. Агент - це програмний модуль або пристрій, який може осмислити своє середовище за допомогою сенсорів. Такі агенти також можуть впливати на навколишнє середовище з використанням допоміжних пристроїв [44].

Кілька агентів, що використовуються разом, називаються мультиагентними системами. МАС здатні обмінюватись інформацією один з одним та створювати «групові» тактики поведінки для вирішення однієї спільної задачі [45, 46]. Агенти можуть взаємодіяти один з одним прямо чи опосередковано. Непрямою взаємодією може бути вплив на навколишнє середовище, зміна параметрів якого може повпливати на логіку роботи інших агентів. Безпосередня взаємодія може бути представлена шляхом прямого спілкування агентів між собою за допомогою команд. Цікавою властивістю інтелектуальних агентів є те, що агенти можуть вибрати тактику співпраці задля взаємної вигоди або конкурувати для досягнення цілей кожного окремого агента [43].

Було досліджено розроблену мультиагентну систему для відстеження поведінки користувачів для динамічної зміни логіки роботи системи [47], результат роботи якої продемонстрував успішну ідентифікацію діяльності мешканців на протязі різних тривалостей моніторингу. Логіка функціонування «розумного» будинку була розроблена на основі адаптації до змін поведінки користувачів. Система здатна адаптуватися до змін людини у виявлених ситуаціях, і може автоматично оновити свою модель відповідно до нових змін поведінки користувачів [48].

Метод нечіткої логіки використовується для вирішення проблем невизначеності і працює подібним до міркування людини чином, де використовуються неповні або неточні дані [49]. Нечітка логіка керується механізмом логічного висновку, що слідує умові IF-THEN, які визначають залежності між нечіткими входами і виходами системи [50].

Приклад правил IF-THEN наведено у проаналізованій роботі [51], де розглянуто розроблену систему адаптивного нечіткого управління для «розумних» будинків. У сценарії в якості тесту була використана система освітлення, де прикладом умови є

наступне правило: «ЯКЩО людина присутня і РІВЕНЬ зовнішнього освітлення ТЕМНИЙ, ТОДІ потужність освітлення МАКСИМУМ».

Також, використання нечіткої логіки було використано в мультисенсорному середовищі для системи «розумного» будинку у модулі моніторингу охорони здоров'я [52]. Система складається з мультимодульної платформи з датчиками встановленими по всьому будинку для збору даних. Далі дані обробляються та аналізуються за допомогою нечіткої логіки, що дозволяє гнучко змінювати модульність або додавати більше датчиків.

Перевага використання нечіткої логіки полягає в тому, що вона ефективна для приблизних міркувань, проте їй бракує здібності до навчання та адаптаційних можливостей [53].

Великою перевагою машинного навчання є те, що воно усуває необхідність у зусиллях з програмування, дозволяючи комп'ютеру вчитися на досвіді. Машинне навчання за допомогою методу опорних векторів основане на навчанні для класифікації об'єктів на основі прикладів з навчальної вибірки. Метод опорних векторів у системі «розумного» будинку використаний для моніторингу (за допомогою датчиків) активності людей похилого віку в будинку, з метою раннього виявлення втрати ними дієздатності. Дані, зібрані датчиками, пізніше були проаналізовані за допомогою методу опорних векторів для класифікації семи видів активності у повсякденному житті, тобто гігієни, прийому їжі, сну тощо. Експеримент був протестований з 13 людьми молодого віку для того, щоб знайти різні моделі активності, а потім перевірити правильність класифікації методом опорних векторів, використовуючи реальні дані.

У розробці систем «розумного» будинку використовуються марковські моделі, наприклад для моделювання поведінки людини [54]. Для цього розробники використовують камери та аудіодатчики для збору даних, а потім моделі Маркова застосовуються для вивчення поведінки користувачів. Також, існує розроблена система допомоги в митті рук з використанням моделі Маркова [55]. Система складається з камер для відстеження та застосування прийняття рішень із використанням частково спостережуваного процесу прийняття рішень Маркова.

1.3 Недоліки та проблеми впровадження використання існуючих систем «розумного» будинку

Незважаючи на потенційні переваги систем «розумного» будинку, рівень їх сприйняття, як корисних і доступних залишається низьким [101, 102]. Тому важливо вивчити відношення до систем «розумного» будинку та погляд користувачів на проблеми, які можуть перешкоджати впровадженню систем «розумних» будинків.

Технологічна відповідність є найважливішим фактором для вирішення питань розвитку систем «розумного» будинку [57]. Це можна охарактеризувати як сприйняття користувачами сумісності технології, зв'язності та надійності системи. Ці три фактори сильно пов'язані із відношенням до користі використання технології [98, 101]. Відповідно до цієї точки зору, дослідження щодо впровадження систем «розумного» будинку поступово посилюють свою увагу на особливостях систем, що потенційно можуть становити загрози для користувачів та впливати на позитивне сприйняття систем.

Автоматизація технологій, мобільність та сумісність вважаються спрощуючими чинниками для позитивного сприйняття [98]. Бар'єр у використанні, який стосується надійності та простоти використання, відіграє вирішальну роль у сприйнятті систем «розумного» будинку, завдяки чому складність технології призводить до відмов від її впровадження [103]. Однак всерівно існує низка сучасних приладів «розумного» будинку, які є дуже складні у використанні. Оскільки більшість проектів систем «розумного» будинку були суто технічними, погляд на простоту використання був недостатньо досліджений. Користувачі очікують, що системи «розумного» будинку визначать їхні потреби та нададуть індивідуальну допомогу. Однак було встановлено, що люди взагалі скептично ставляться до надійності продуктів «розумних» будинків. Зважаючи на той факт, що системи «розумного» будинку почали рухатися до масового ринку, розробляючи функції для потенційних користувачів важливо забезпечити надійність.

Друга група бар'єрів включає фінансові, етичні та юридичні проблеми. До фінансових факторів належать ціна систем та вартість встановлення, ремонту та

обслуговування, що відштовхує користувачів від позитивного сприйняття систем «розумного» будинку [56, 85]. Деякі люди виражали нерозуміння того, як «розумні» будинки можуть допомогти їм заощадити гроші, що викликає недовіру до технології [85]. Наукові роботи вказують на те, що впровадження цих систем в галузі охорони здоров'я є затратними. Але водночас цей висновок не підтримує припущення, що допоміжні пристрої для дому можуть фінансово принести користь як користувачам, так і лікарням, замінивши традиційне відвідування віртуальною терапією [56]. Деякі дослідники стверджували, що впровадження концепції «розумного» будинку в сфері охорони здоров'я потребуватиме великих вкладень, оскільки фінансові інвестиції та навчання медичного персоналу будуть необхідними для безпечного та ефективного використання систем «розумного» будинку.

Можливість систем «розумного» будинку збирати та зберігати величезну кількість приватних даних викликає етичні проблеми, такі як конфіденційність та безпека [102]. У ряді країн системи «розумного» будинку не можуть бути застосовані в охороні здоров'я без згоди пацієнта, який повинен бути повністю проінформований щодо процедури обслуговування. Дослідження свідчить про переважну недовіру користувачів, тобто вони не дозволяють збирати особисті дані. Ризик вторгнення в приватне життя виступає головним бар'єром позитивного сприйняття систем «розумного» будинку, що підтверджується рядом досліджень [101, 102, 104]. Порушення конфіденційності життя користувачів може статися внаслідок небажаного розкриття інформації та неможливості контролювати втручання систем автоматизації в приватне життя [101]. Щодо сприйняття ризику конфіденційності та безпеки, то думки користувачів розділяються. Деякі люди, здається, змогли використати переваги технології, не турбуючись проблемами конфіденційності. Інші бачили, що домашня автоматизація та дистанційне управління можуть створювати загрозу безпеці при розкритті та використанні їхніх даних третіми сторонами. Для вирішення цієї проблеми, розробка та впровадження складних протоколів безпеки має на меті усунути ризики шахрайського вторгнення та неправильного використання технологій у системах «розумного» будинку.

Системи «розумного» будинку, включаючи концепцію електронного здоров'я, є відносно новою дисципліною з відсутністю письмових правових норм щодо використання цих технологій. Для того, щоб забезпечити широке сприйняття цієї технології, уряди повинні скоригувати закони щодо практики використання. Враховуючи розрив у законодавстві, політики можуть ввести закони для врегулювання конфліктів між розробниками систем «розумного» будинку та користувачами щодо отриманого продукту. Політикам також потрібно дотримуватися закону про конфіденційність, щоб гарантувати захист даних користувачів та уникати будь-яких навмисних чи випадкових порушень закону про конфіденційність. Однак коли дані, пов'язані зі здоров'ям користувачів систем «розумного» будинку, використовуються лікарем або окремим лікарем, розуміння про конфіденційність даних змінюється. Тому важливо визначити межі між вторгненням у конфіденційність та захистом даних, особливо у галузі охорони здоров'я.

Низький показник сприйняття користі використання систем «розумного» будинку можна пояснити відсутністю знань, довіри та досвіду використання цієї технології. Оскільки системи «розумного» будинку є новими технологіями, люди не повністю усвідомлюють свої функції у будинку, потенційні ризики та вигоди. Відсутність знань щодо систем «розумного» будинку перешкоджає більш широкій реалізації даних систем на масовому ринку. Наприклад, дослідження, яке вивчало сприйняття «розумних» лічильників, показало, що люди звикли до традиційних рівних тарифів на електроенергію та що їм недостатньо знань щодо переваг, які могли б створити розумні технології. Також на сприйняття нових технологій сильно впливає зворотний зв'язок запроваджених технологій, що може не завжди бути позитивним. Таким чином, недостатня обізнаність користувачів у поєднанні з поганими наслідками роботи може зіграти негативну роль у сприйнятті систем «розумного» будинку потенційними користувачами [101].

Науковці [105] намагалися дослідити виклики сприйняття «розумних» технологій за допомогою теорії стійкості до інновацій. Результати вищезазначеного дослідження говорять про те, що сприйняття новизни та користі має істотний негативний вплив на

опір споживачів сприймати всерйоз «розумні» товари. У відповідності з цим висновком інше дослідження підтвердило, що інноваційний продукт, який не відповідає раніше існуючому середовищу та вимагає зміни способу життя та поведінки користувачів, може не вийти на масовий ринок. Користувачі більше віддаються старим звичкам і рішуче протистоять змінам своїх звичок та стилю життя. Щоб подолати цей психологічний бар'єр, «розумні» побутові прилади можуть містити програмні системи, які підлаштовуються під звички користувачів.

Перспективи ізоляції та відсутності людської взаємодії може стати викликом для сприйняття систем «розумного». Можливі два сценарія розвитку ситуації. У першому технологія замінює взаємодію людини віртуальним спілкуванням, поступово виключаючи користувачів із суспільства у фізичному середовищі. У другому - прийняття технології одним соціальним шаром заможних користувачів, що дозволило б виключити населення, яким дана технологія не доступна, публічно визначивши їхній нижчий соціально-економічний статус. Дві точки зору суперечливі, що залишає перспективу для подальшого вивчення.

Незважаючи на численні потенційні переваги систем «розумного» будинку, існує недостатньо проведених досліджень з точки зору користувача. Цей розрив було показано у більшості досліджень наукових публікацій. Роботи переважно зосереджені на технічних характеристиках систем «розумного» будинку [98, 102], що означає потребу у прийнятті споживчої точки зору в дослідженнях розвитку технологій. Важливо вивчити та зрозуміти роль різних зацікавлених сторін, які потенційно могли б взяти участь у розвитку систем «розумного» будинку. Перехід від орієнтованих на технологію досліджень до орієнтованого на споживача підходу дозволить науковцям дослідити потенційний розвиток широкого спектру послуг, щоб задовольнити більші сегменти користувачів та охопити всі потенційні переваги систем «розумного» будинку. Враховуючи вищесказане, майбутні дослідження можуть зосередити увагу на функціях систем «розумного» будинку з точки зору основних користувачів.

Науковці в дослідженнях намагаються вивчити відношення користувачів до конкретних технологій та функцій, що створює ще одну широко обговорювану

перспективу, яку слід вирішити у майбутніх дослідженнях. Наприклад, деякі вчені досліджували потреби користувачів, зручність використання та сприйняття окремих пристроїв, а не комплексних систем «розумного» будинку. Зосередженість на одному пристрої може не дати повної належної картини розуміння. Перш за все, така перспектива не відповідає еволюційному етапу, на якому зараз знаходиться індустрія систем «розумного» будинку, що відображається зосередженістю на сумісності та багатофункціональності пристроїв. На фоні активного розвитку IoT та інтегрованих розважальних систем такі компанії, як Apple та Google, створюють тенденції до об'єднання всіх можливих приладів (наприклад, годинників, окулярів, автомобілів, побутової техніки) на основі платформи IoT [61]. Об'єднання раніше відокремлених пристроїв стирає фізичні межі будинків і переосмислює концепцію систем «розумного» будинку та галузей в цілому. Наприклад, Apple створила платформи «CarPlay» та «Home Kit», що дозволяють користувачам контролювати домашні побутові пристрої під час руху користувача в автомобілі. Ця ініціатива сигналізує про високу ймовірність того, що компанії різних галузей можуть вийти на ринок систем «розумного» будинку. Однак, незважаючи на постійні розробки, поки що мало проведено досліджень у галузі екосистем «розумних» будинків [61]. Враховуючи швидкі темпи розробок, дослідження повинні переключитись з окремих пристроїв на комплексні інтегровані системи. По-друге, дослідження окремих пристроїв торкнулися дуже вузького пакету функцій та послуг. Майбутні дослідження повинні враховувати типи систем «розумного» будинку. Різниця може бути у відмінних факторах, які мають проявлятися в процесі сприйняття систем користувачами.

Щодо питань позитивного сприйняття систем «розумного» будинку мало конкретних доказів. Такі дослідження можуть давати потенційно різні погляди з огляду на середовище, в якому застосовується система. Майбутні дослідження можуть розвинути нову теорію, яка стосуватиметься як психологічних, так і технологічних факторів, що можуть призвести до розвитку використання систем «розумного» будинку.

Декілька досліджень, які застосували перспективу з сторони користувача систем, щоб вивчити переваги та перешкоди на шляху впровадження систем «розумного»

будинку, дали суперечливі результати [100, 103]. Суперечності попередніх висновків вимагають подальшого вивчення розуміння систем користувачами. Майбутні дослідження можуть дослідити емоційні, психологічні, функціональні та фінансові передумови, які спонукають користувачів приймати або відхиляти рішення про застосування продуктів «розумного» будинку. Крім того, важливо дослідити конструкції, які підкреслюють ціннісне сприйняття користувачів, оскільки вони впливають на намір використовувати технологію. Індивідуальні та фінансові фактори можуть визначати відносну важливість переваг застосування систем «розумного» будинку для певної групи користувачів, що може бути важливим фактором у майбутніх дослідженнях [63].

По-друге, після публікацій наукових робіт [105] роль психологічного опору є важливим фактором для досліджень. Майбутні дослідження можуть запропонувати нове розуміння різниці у ставленні користувачів до систем «розумного» будинку та факторів, які підкреслюють опір позитивного сприйняття нових технологій. По-третє, розробка чітких правил регулювання та політики не були головними пунктами опублікованих досліджень. Однак у ряді досліджень, що розглядають бар'єри сприйняття систем «розумного» будинку на ринку, підкреслюється важливість запровадження правил для пом'якшення етичних проблем.

Що стосується методологій, які використовуються у проаналізованих наукових роботах, то у них використовуються якісні методології, включаючи фокус-групи, тематичні дослідження та опитування [57, 85]. Надалі кількісний підхід також може бути використаний для вивчення ставлення та сприйняття переваг споживачів. Більшість досліджень, які були проведені у Великобританії та США описували, що культурний, економічний та геополітичний контексти впливають на норми, погляди та переконання. Вони можуть виявити нові змінні, які лежать в основі та мають великий вплив на намір позитивного сприйняття систем «розумного» будинку. Щоб перевірити контекстну залежність сприйняття переваг та послуг які надають системи «розумного» будинку, майбутні дослідження повинні перенести фокус на східні країни.

Висновки до розділу 1

Проведений аналіз наукових публікацій показує розвиток взаємодії наукового співтовариства та комерційних компаній, що розробляють електронні прилади у спільному зацікавленні в розвитку сфери розробки систем «розумного» будинку. Були розглянуті етапи розвитку систем «розумного» будинку з їхніми перевагами та недоліками на кожному етапі. На сьогоднішній день розробки цих систем активно залучають можливості штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання, але паралельно існує ряд не вирішених завдань, що потребують тісної кооперації між науково-дослідними інститутами та комерційними дослідницькими центрами великих технологічних корпорацій. До таких завдань відносяться питання підвищення безпеки персональних даних користувачів систем «розумного» будинку, підвищення рівня складності та комплексності завдань автоматизованого управління побутовими приладами у будинку для забезпечення комфортних умов проживання мешканців будинку без залучення дій з боку людини та завдання зменшення вартості розробки та підтримки систем «розумного» будинку для поширення даних систем на масові ринки та розширення набору галузей для їхнього активного використання. Також, аналіз літературних джерел дає змогу побачити стрімку тенденцію збільшення потреби користувачів у одночасній можливості використання штучного інтелекту у запроваджених системах «розумного» будинку, водночас з обмеженнями «свободи» його роботи завдяки створенню механізмів регулювання, перевірки та задання заборон на виконання деяких дій системою, навіть при рекомендації цих змін штучним інтелектом. Такий підхід сприятиме кращій інтеграції систем «розумного» будинку у повсякденне життя людей та підвищенню загального рівня сприйняття нової технології. Проведений аналіз особливостей ринку систем «розумного» будинку дає змогу стверджувати, що попит на системи «розумного» будинку стрімко зростає, тим самим стимулюючи розробників випускати нові продукти з новими функціональними можливостями. Це підтримує здорову конкуренцію виробників та є важливим рушієм інновацій даної сфери розробок, бо одночасно з розвитком технологічного рівня представлених продуктів, зростають потреби та очікування

клієнтів до рівня систем наступного покоління, які користувачі готові придбати. Одночасно з підвищенням рівня технологічного оснащення систем «розумного» будинку, спостерігається поступове зниження ціни на системи, які задовольняють базові потреби користувачів, що робить інтеграцію систем даного типу у життєдіяльність людей все більш доступною.

Аналіз методів та моделей дає можливість стверджувати, що основними методами та моделями, які застосовуються під час розробки систем «розумного» будинку є інтелектуальні агенти, методи нечіткої логіки, машинне навчання та моделі Маркова. Кожен із згаданих моделей та методів використовується для вирішення конкретних задач, які допомагають аналізувати поведінку користувачів та приймати рішення для виконання дій, що забезпечують підвищення рівня комфорту та безпеки користувачів систем.

Аналіз існуючих систем «розумного» будинку дає змогу стверджувати, що більшість існуючих систем «розумного» будинку є створені для вирішення окремих конкретних побутових завдань, підвищення рівня безпеки та моніторингу показників здоров'я користувачів, тощо. Водночас, існує брак комплексних систем, які можуть виконувати багато функцій, що задовільняють більшість потреб користувачів одночасно, параметри моніторингу і дії яких можуть бути взаємозалежними та стосуються декількох сфер життєдіяльності людини.

РОЗДІЛ 2. ЗАПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ, МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ

2.1 Розроблення методу роботи системи «розумного» будинку у помешканні

Розробка методу емуляції роботи системи «розумного» будинку полягає в емуляції спрацювання датчиків руху, зміни показників датчиків температури, емуляції роботи побутових приладів та емуляції життєдіяльності користувачів системи у двокімнатній квартирі. Метод емуляції роботи системи «розумного» будинку дає змогу запроваджувати викладені ідеї розробки на конкретних прикладах та дозволить отримати результати запровадження системи.

Земульоване помешкання складається з наступних приміщень: холл, коридор, кухня, ванна кімната, вітальня, балкон та спальня (Рисунок 2.1). Приміщення помешкання поділяються на відповідні 7 зон для забезпечення логічного групування сенсорів та приладів в окремих частинах помешкання (Рисунок 2.2). Декомпозиція поділу помешкання на окремі приміщення та функціональні зони представлена на Рисунку 2.3. Алгоритм методу емуляції помешкання представлений на Рисунку 2.4.

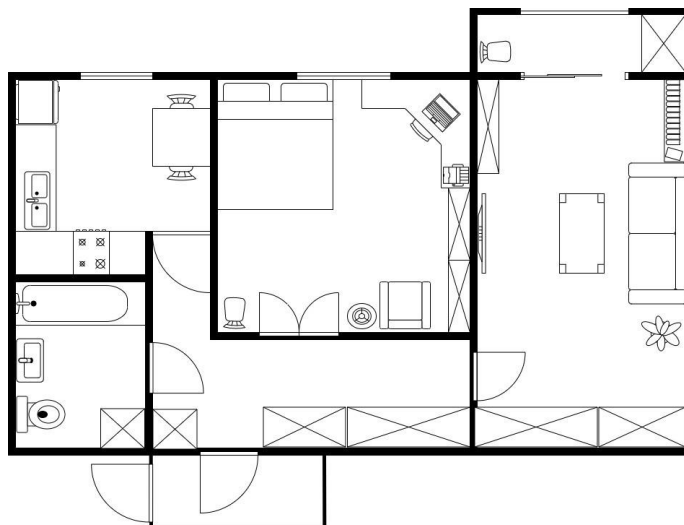


Рис. 2.1. План помешкання емуляції роботи системи «розумного» будинку

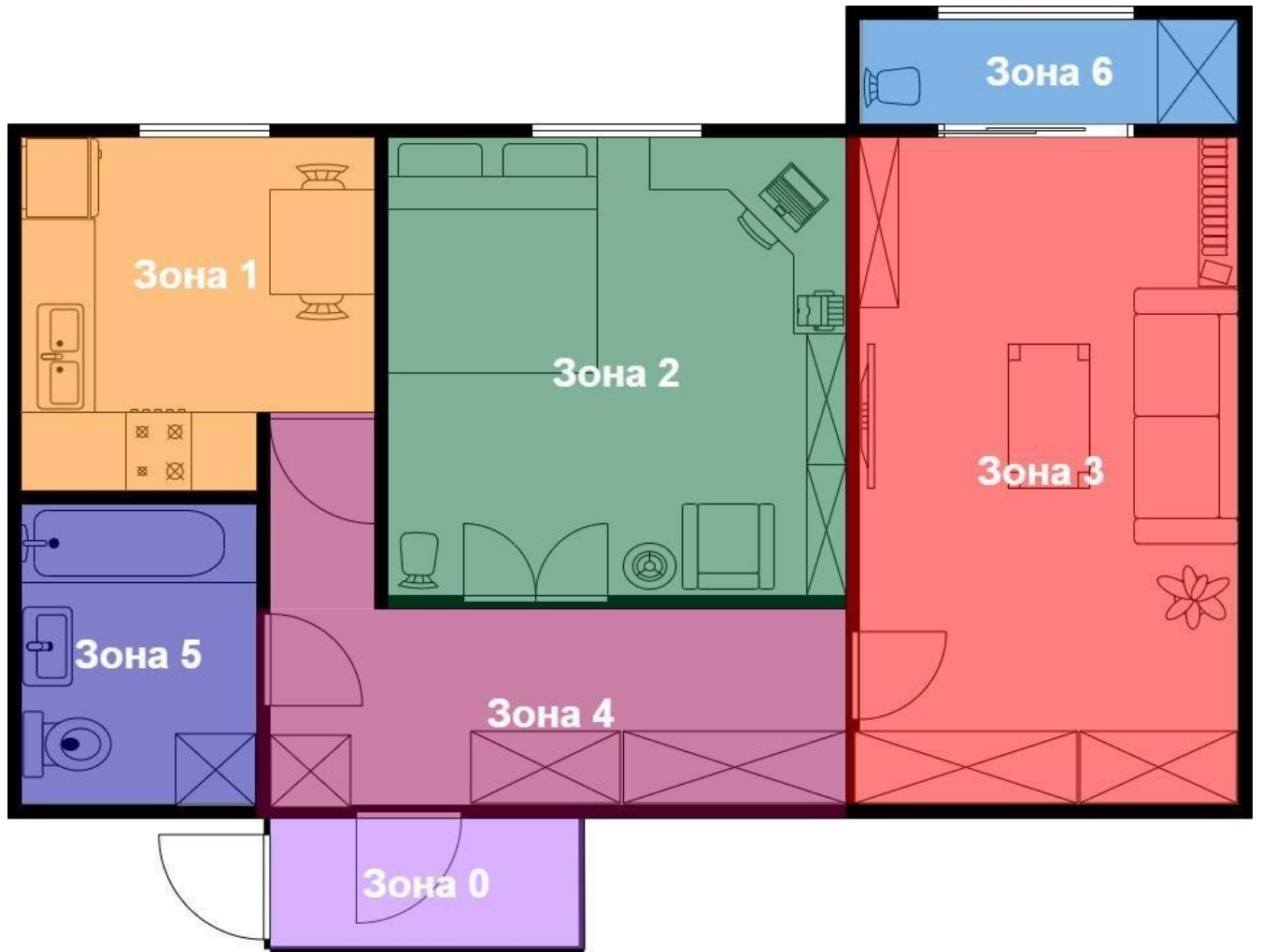


Рис. 2.2. План зонування приміщень помешкання

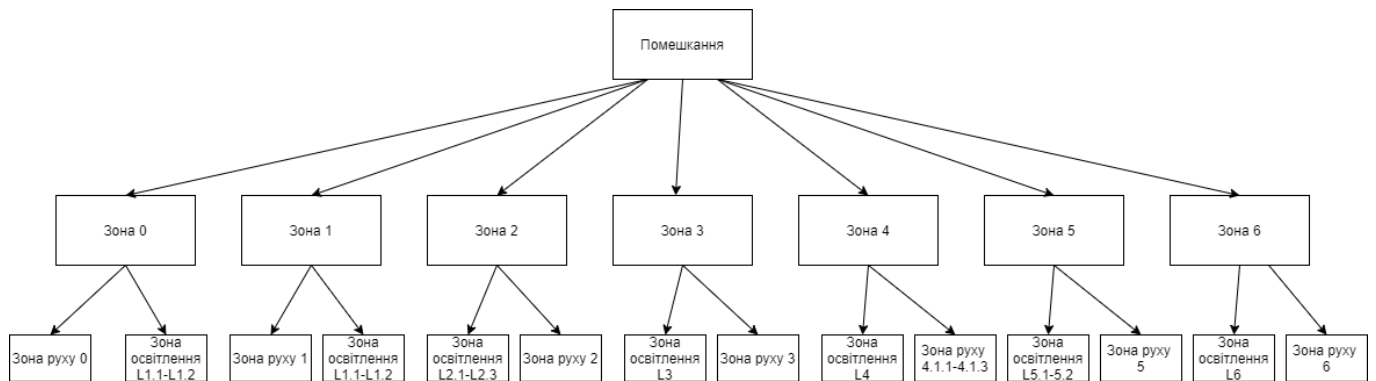


Рис. 2.3. Декомпозиція помешкання на приміщення та функціональні зони

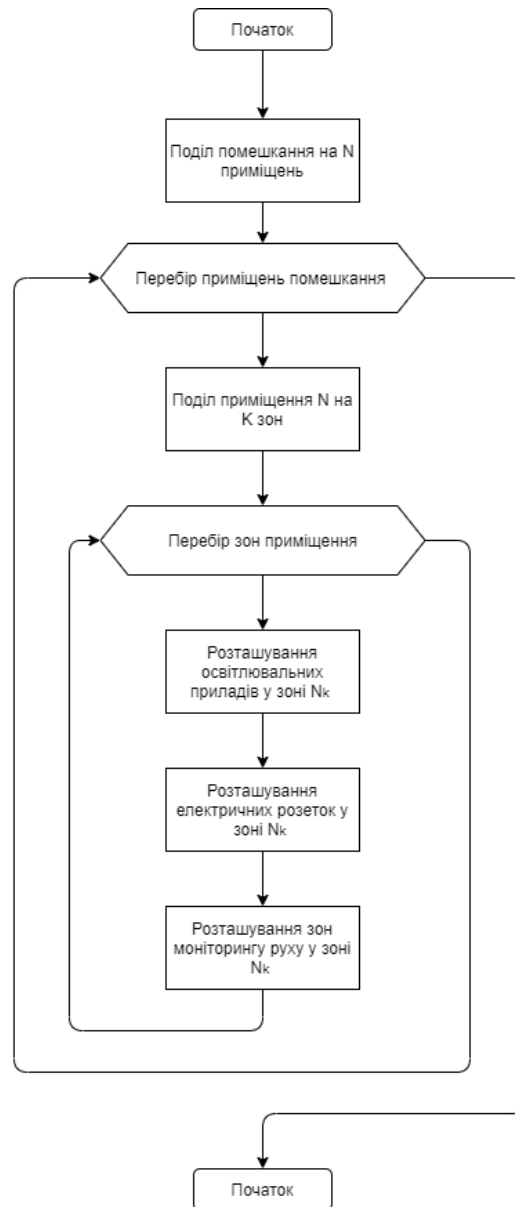


Рис. 2.4. Алгоритм методу емуляції помешкання

Таблиця 2.1.

Таблиця типів емульованого помешкання та відповідних їм назв зон

Тип приміщення	Назва зони
Холл	Зона 0
Кухня	Зона 1
Спальня	Зона 2
Вітальня	Зона 3
Коридор	Зона 4
Ванна кімната	Зона 5
Балкон	Зона 6

У емульованому помешканні розташовуються 15 освітлювальних приладів (Рисунок 2.5). Кожна зона помешкання у свою чергу поділяється на окрему групу освітлювальних приладів. Для зони 1, тобто кухні є дві групи освітлювальних приладів: верхнє освітлення, що складається з одного приладу освітлення та зони робочої поверхні, що складається з двох приладів освітлення. У зоні 2 існує три групи освітлювальних приладів: група верхнього освітлення, що включає два освітлювальні прилади; зони робочого місця та освітлення читальної зони, що включають по одному освітлювальному приладу. Зона 3 складається з однієї групи верхнього освітлення, яка містить два освітлювальні прилади. Зона 4, також містить одну групу освітлювальних приладів, що складається з трьох освітлювальних приладів. Зона 5, тобто ванна кімната, включає дві групи освітлювальних приладів: групу верхнього освітлення з двох освітлювальних приладів та групу освітлення дзеркала з одного освітлювального приладу. План розташування зон освітлення у помешканні зображений на Рисунку 2.6.

В загальному випадку модель для емуляції системи «розумного» будинку можна зобразити за допомогою теорії множин, яка включає зали, групи пристроїв та безпосередньо – присторої:

$$SB = (Z, G, El), \quad (2.1)$$

де Z – множина зон, G – множина груп, El – множина елементів.

$$Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n), \quad (2.2)$$

де n – кількість зон в «розумному» будинку,

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_m), \quad (2.3)$$

де m – кількість груп,

$$El = (El_1, El_2, \dots, El_k), \quad (2.4)$$

де k – кількість пристроїв.



Рис. 2.5. План розташування освітлювальних приладів у помешканні

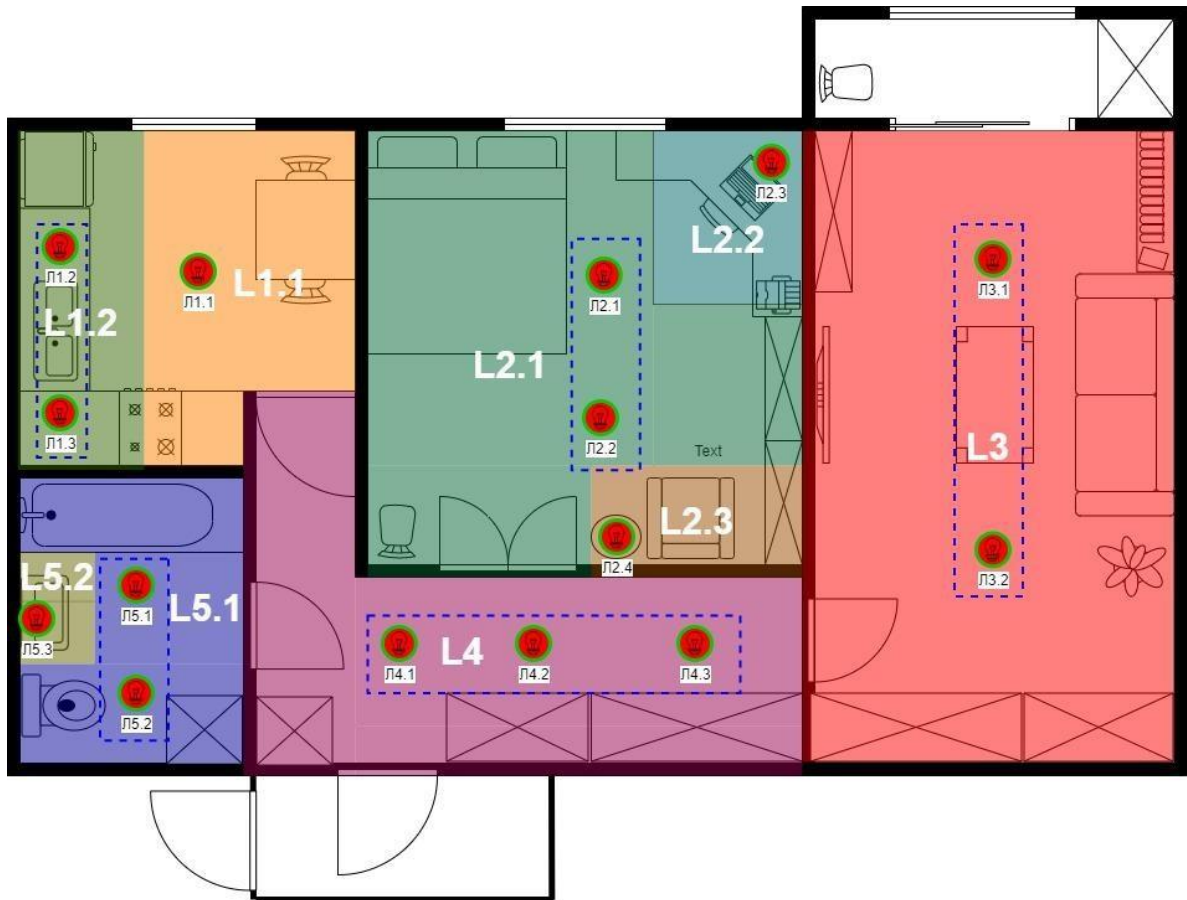


Рис. 2.6. План розташування зон освітлення у помешканні

Таблиця 2.2.

Таблиця розташування по зонам та групування освітлювальних приладів

Назва зони	Назва групи	Ідентифікатор лампи
Зона 1	Верхнє освітлення	Л1.1
	Зона робочої поверхні	Л1.2
		Л1.3
Зона 2	Верхнє освітлення	Л2.1
		Л2.2
	Зона робочого місця	Л2.3
	Освітлення читальної зони	Л2.4
Зона 3	Верхнє освітлення	Л3.1
		Л3.2
Зона 4	Верхнє освітлення	Л4.1
		Л4.2
		Л4.3
Зона 5	Верхнє освітлення	Л5.1
		Л5.2
	Освітлення дзеркала	Л5.3

Емуляція помешкання також включає емуляцію роботи електричних розеток до яких під'єднані побутові прилади. Розташування електричних розеток також поділено на зони. До зони 1, тобто кухні, входять вісім електричних розеток до яких під'єднані наступні побутові прилади: холодильник, електрочайник, тостер, посудомийна машина, мікрохвильова піч, електрична духовка шафа. До зони 2, тобто спальні, відносяться 5 електричних розеток до яких під'єднані наступні побутові прилади: зарядка персональних приладів, ноутбук, принтер, інтернет модем, побутова розетка. До зони 3, тобто вітальні, відносяться 5 електричних розеток до яких під'єднані наступні побутові прилади: телевізор, ТВ тюнер, аудіосистема, підсвітка бібліотеки, зарядка персональних приладів. Зона 4, тобто коридор містить одну розетку для підключення робота пилососа. Зона 5, тобто ванна кімната, містить три електричні розетки для під'єднання наступних побутових приладів: електробритва, фен та пральна

машина. План розташування електричних розеток у помешканні зображений на Рисунку 2.7.

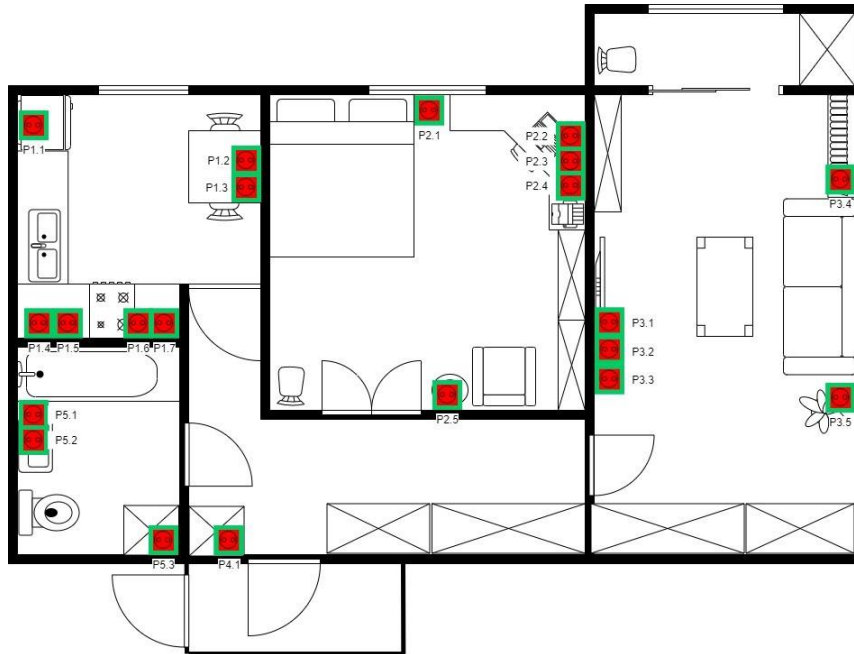


Рис. 2.7. План розташування електричних розеток у помешканні

Таблиця 2.3.

Таблиця розташування електричних розеток по зонам та типів підключених електроприладів

Зона	Ідентифікатор розетки	Прилад
Зона 1	P1.1	Холодильник
	P1.2	Електрочайник
	P1.3	Тостер
	P1.4	Посудомийна машина
	P1.5	Мікрохвильова піч
	P1.6	Електроплита
	P1.7	Електрична духовна шафа
Зона 2	P2.1	Зарядка персональних приладів
	P2.2	Ноутбук
	P2.3	Принтер
	P2.4	Інтернет модем
	P2.5	Побутова розетка
Зона 3	P3.1	Телевізор
	P3.2	ТВ-тюнер
	P3.3	Аудіо система

	P3.4	Підсвітка бібліотеки
	P3.5	Зарядка персональних приладів
Зона 4	P4.1	Робот-пилосос
Зона 5	P5.1	Електробритва
	P5.2	Фен
	P5.3	Пральна машина

Емуляція помешкання включає емуляцію роботи сенсорів руху. Для ефективності роботи системи безпеки, зони з підвищеним рівнем активності мешканців поділяються на окремі підзони. У помешканні емулюється робота восьми сенсорів руху, що працюють над моніторингом одинадцяти зон активності мешканців помешкання.

Приміщення холу, кухні, спальні, вітальні, ванни кімнати та балкону мають окремі зони моніторингу активності жильців помешкання з одним сенсором руху на зону. Приміщення коридору містить 2 сенсора руху та логічно поділяє приміщення коридору на п'ять окремих зон для більш точного моніторингу руху мешканців помешкання. План розташування зон моніторингу руху у помешканні зображений на Рисунку 3.8.



Рис. 2.8. План розташування зон моніторингу руху у помешканні

Таблиця 2.4.

Таблиця розташування сенсорів руху по зонам моніторингу відповідних приміщень
помешкання

Приміщення	Ідентифікатор сенсора	Зони моніторингу
Хол	C0	Зона 0
Кухня	C1	Зона 1
Спальня	C2	Зона 2
Вітальня	C3	Зона 3
Коридор	C4.1	Зона 4.1.1
		Зона 4.1.2
		Зона 4.1.3
	C4.2	Зона 4.2.1
		Зона 4.2.2
Ванна кімната	C5	Зона 5
Балкон	C6	Зона 6

Для врахування підзон в моделі (3.1) використовується наступна формула:

$$Z_i = (Z_{i,1}, Z_{i,2}, \dots, Z_{i,j}), \quad (2.5)$$

де Z_i – і-та зона, $Z_{i,j}$ – і-та зона з j-ою підзоною.

В свою чергу множина пристроїв містить ряд підмножин пристроїв (розетки, освітлювальні пристрої, тощо).

2.2 Моделі роботи приладів будинку на основі мереж Петрі

Для імітації роботи системи "розумного" будинку створено основну мережу Петрі вищого рівня для імітації роботи системи загалом, а також деталізовані дочірні мережі

Петрі, які забезпечують моделювання роботи підсистем "розумного" будинку для керування освітленням, керування температурним режимом та функції системи безпеки.

Події у приміщеннях будинку, які виникають під час зміни значень від давачів, розташованих у будинку, представлені у вигляді переходів мереж Петрі. Опис позицій та переходів основної мережі Петрі, використаної для моделювання процесів роботи системи "розумного" будинку, наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5.

Опис позицій основної мережі Петрі системи "розумного" будинку

Позиція	Опис позиції	Перехід	Опис переходу
P0	Стан вимкненої системи	T1	Увімкнення системи
P1	Стан увімкненої системи	T2	Вимкнення системи
P2	Зафіксована давачем подія	T3	Спрацювання датчика
P3	Стан готовності опрацювання подій	T4	Запуск обробки події
P4	Стан налаштувань температури	T5	Робота клімат-контролю
P5	Стан налаштувань освітлення	T6	Робота контролю освітлення
P6	Стан налаштувань безпеки	T7	Робота контролю безпеки
P7	Стан нового стану системи	T8	Генерування нового стану

Основна мережа Петрі розроблена для моделювання процесів роботи системи "розумного" будинку та взаємодії її підсистем представлена на Рисунку 2.9.

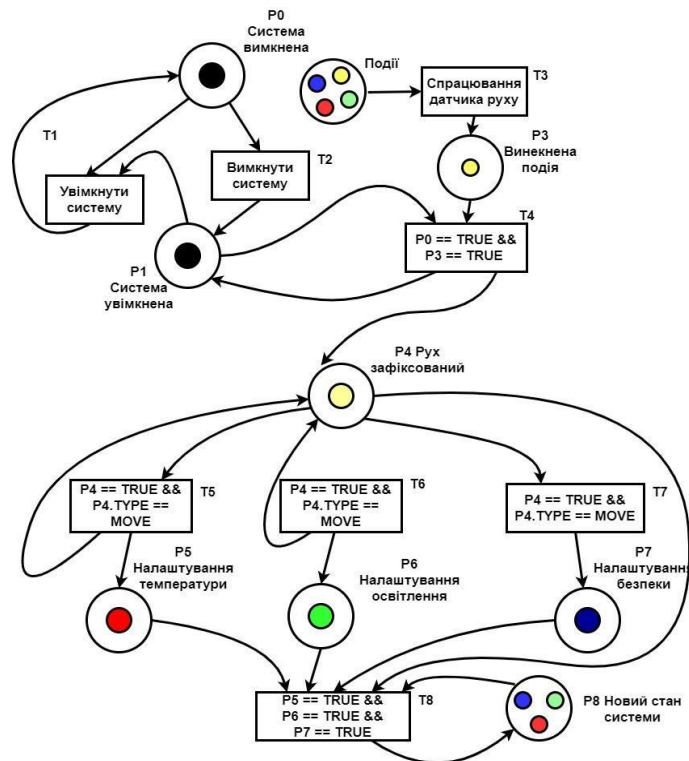


Рис. 2.9. Мережа Петрі: моделювання процесів роботи системи "розумного" будинку та взаємодії її підсистем

Побудована модель роботи освітлювальних приладів будинку на основі мереж Петрі базується на станах емульованих освітлювальних приладів та переходів, що відображають увімкнення та вимкнення відповідних освітлювальних приладів автоматизованою системою чи користувачами вручну (Рисунок 2.10).

При вході у помешкання, користувач попадає у зону 4 тобто коридор, що має одну групу верхнього освітлення відображену станом R1. З зони 4 користувач може переміститись у зони 1, 2, 3 та 5. Перейшовши у зону 5, тобто ванну кімнату система або користувач має можливість увімкнення верхньої групи освітлення зони 5, що відображена станом R5. Також з даного стану можливе увімкнення групи освітлення дзеркала, що відображена станом R7. При покиданні даної зони, стан стає неактивним. При переході користувача у вітальню, тобто зону 3, є можливість увімкнення групи верхнього освітлення, що відображено станом R2. Під час переходу користувача у спальню, група верхнього освітлення відображена станом R3 може бути активована. З даного стану додатково можуть бути активовані групи освітлення робочої зони та зони читання, представлені станами R8 та R9 відповідно. Перехід користувача назад у коридор, активує стан освітлювальних приладів зони 2. При переході користувача в кухню, тобто зону 1, можлива активація групи верхнього освітлення, яка відображена станом R4. Додатково при активованому стані R4 можливе увімкнення додаткового освітлення робочої поверхності представленого станом R6. Активація відповідних переходів відбувається за допомогою команди головного контролера, що у свою чергу отримує дані сенсорів руху про активність мешканців помешкання у кожній конкретній зоні моніторингу. На основі даних активності, головний контролер приймає рішення про активацію того чи іншого переходу, що відповідає за увімкнення або вимкнення відповідної групи освітлювальних приладів. Застосування мережі Петрі запобігає виникненню конфліктних ситуацій з боку автоматизованого прийняття рішення завдяки структурованій послідовності та обмеженням на активацію окремих станів при недосяжності мітки активності користувачів у конкретному приміщенні.

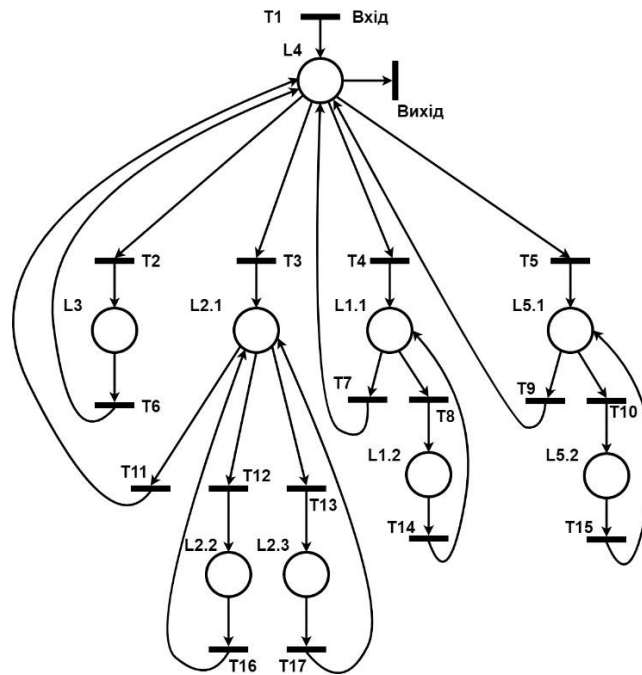


Рис. 2.10. Мережа Петрі станів роботи підсистеми управління освітлювальними приладами помешкання

Мережа Петрі станів роботи підсистеми управління освітлювальними приладами помешкання може бути представлена за допомогою двох матриць інцидентності Q та R . Кожна матриця має n стовбців, що відповідає кількості станів p та k рядків, що відповідає кількості переходів t . Значеннями матриць є нулі та одиниці, що відображають значення відповідних елементів $q_{j\epsilon}$ та $r_{j\epsilon}$:

$$Q = |q_{js}| = \begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{k1} & q_{k2} & \dots & q_{kn} \end{vmatrix} \quad (2.6)$$

$$R = |r_{js}| = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & r_{kn} \end{vmatrix} \quad (2.7)$$

Елемент $q_{j\epsilon}$, розташований на перехресті j -ої стрічки та ϵ -ого стовбця, дорівнює одиниці, якщо існує дуга від вершини стану p_ϵ до вершини переходу t_j і дорівнює нулю у протилежному випадку. Елемент $r_{j\epsilon}$, розташований на перехресті j -ої стрічки та ϵ -ого

Система моніторингу руху у помешканні забезпечує моніторинг несанкціонованого вторгнення у помешкання. Стан мережі Петрі підсистеми моніторингу відображає присутність та кількість присутніх мешканців в окремих зонах моніторингу руху у помешканні (Рисунок 2.11). При активності у холі спрацьовує перехід, що активує стан Z1. Для кожного присутнього створюється окрема мітка мережі Петрі. При переході мешканця у коридор спрацьовує перехід, що активує стан Z4.1.1. Зону моніторингу коридору поділено на п'ять окремих підзон, що дозволяють точно отримувати напрямок руху мешканців. Рухаючись у напрямку кухні, або ванної кімнати, мешканець активує стан Z4.1.2. З даного стану мешканець може перейти у ванну кімнату активувавши стан Z5. Якщо користувач з коридору хоче потрапити у кухню, що відображено в станом Z1, мешканець має пройти через активацію стану Z4.1.3. Якщо з коридору мешканець хоче потрапити у спальню, відповідний перехід активує стан Z2. При русі у напрямку вітальні, активується стан Z4.2.2. Вхідження у вітальню активує стан Z3. З вітальні мешканець може вийти на балкон активувавши стан Z6. Після спрацювання датчика руху та після активації відповідного переходу мережі Петрі розроблена система порівнює кількість міток кожного стану з фактичним значенням присутніх людей у кожній зоні моніторингу, визначеному датчиком руху. При неспівпадінні кількості міток та фактично присутніх людей спрацьовує сигналізація та надсилається повідомлення всім користувачам системи. Мережа Петрі відображає пересування мешканців по помешканні, як в закритій системі, що потрапляють у квартиру з входу. Різниця у фактичних показниках присутності та кількості міток в окремих станах системи означає несанкціоноване потрапляння у помешкання.

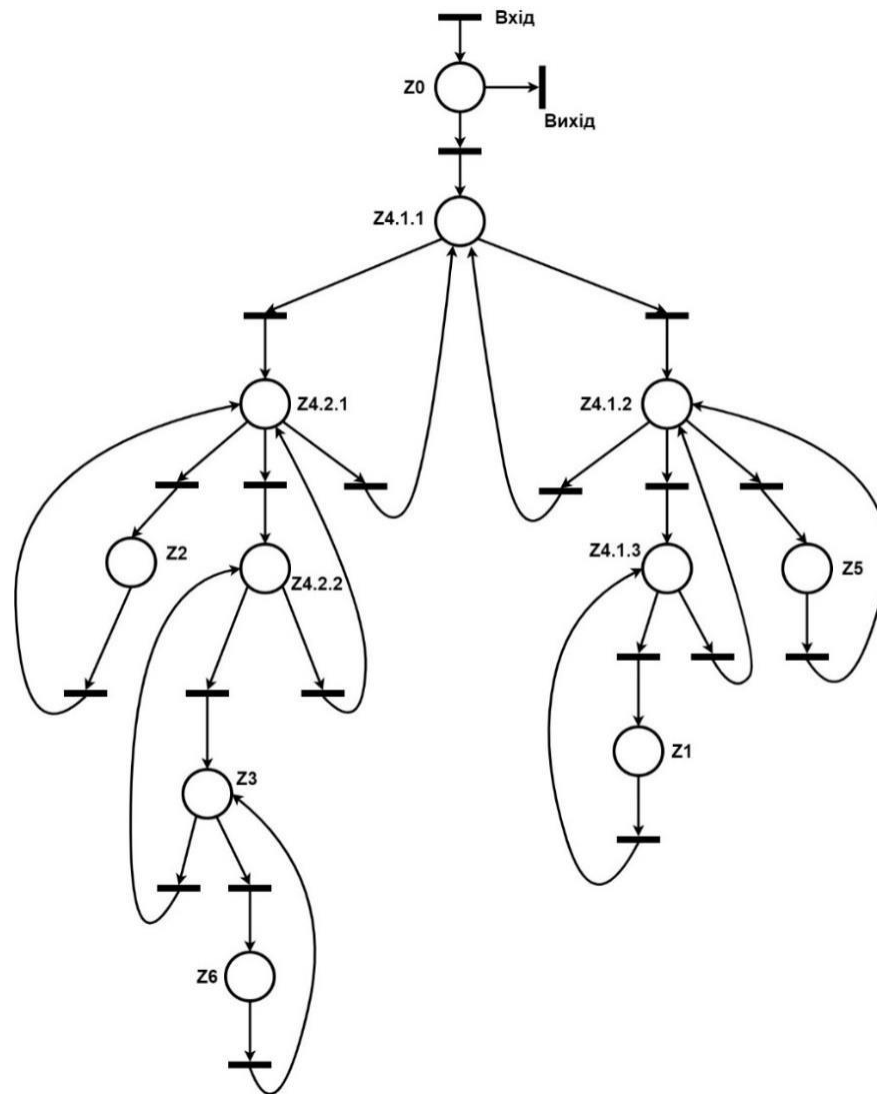


Рис. 2.11. Мережа Петрі станів підсистеми моніторингу руху у помешканні

Підсистема клімат-контролю помешкання працює на основі синтезу мережі Петрі та застосування алгоритму штучної нейронної мережі (Рисунок 3.12). Мережа Петрі відображає стани роботи приладів, які відповідають за підтримку клімат-контролю у помешканні. Ванна кімната обладнана витяжкою та теплою підлогою. Обидва прилади можуть бути вимкнено при підтримці поточної оптимальної температури. Витяжка може бути увімкнена для зниження температури, тепла підлога може бути увімкнена для підвищення температури. Кухня обладнана витяжкою, теплою підлогою та обігрівачем. Ці прилади можуть бути вимкнені для підтримання поточної оптимальної температури. Витяжка може бути увімкнена для зниження температури. Тепла підлога може бути увімкнена для невеликого підвищення температури. Тепла підлога та обігрівач можуть

бути увімкнені одночасно для різкого збільшення температури повітря у кухні. Спальня обладнана кондиціонером, теплою підлогою та обігрівачем. Усі прилади можуть бути вимкненими для підтримання поточної оптимальної температури. Кондиціонер може бути увімкнений для зниження температури у приміщенні. Тепла підлога може бути увімкнена для невеликого підвищення температури. Тепла підлога та обігрівач можуть бути увімкнені одночасно для різкого підвищення температури у спальні. Вітальня обладнана теплою підлогою та обігрівачем. Всі прилади можуть бути вимкненими для підтримання оптимальної поточної температури у приміщенні. Тепла підлога може бути увімкнена для невеликого підвищення температури. Тепла підлога та обігрівач можуть бути увімкнені одночасно для різкого підвищення температури у спальні. Коридор обладнаний теплою підлогою, що може бути вимкнений для підтримки оптимальної поточної температури у приміщенні, а також бути увімкнений для поступового підвищення температури повітря в коридорі.

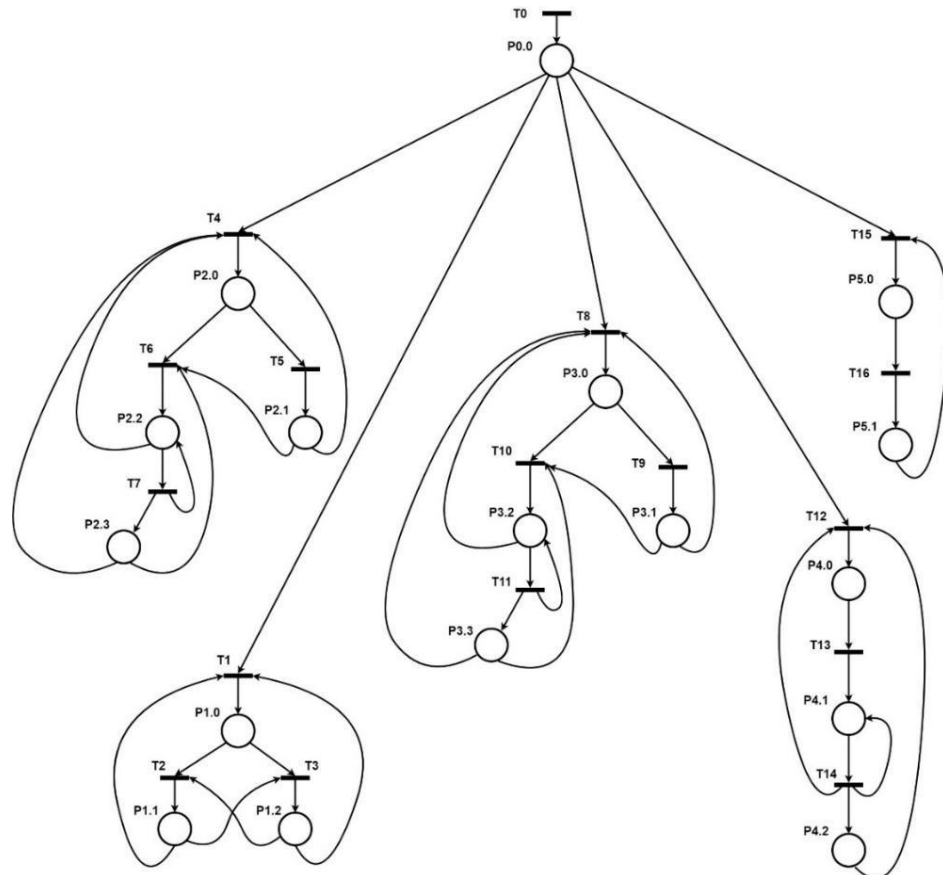


Рис. 2.12. Мережа Петрі станів підсистеми клімат-контролю помешкання

Таблиця 2.б.

Таблиця станів та переходів мережі Петрі підсистеми клімат-контролю помешкання

Назва Приміщення	Назва Приладу	Назва Стану	Назва Переходу			
			T1	T2	T3	
Ванна кімната		P1				
	Витяжка	P1.1	-	+	-	
	Тепла підлога	P1.2	-	-	+	
Кухня		P2	T4	T5	T6	T7
	Витяжка	P2.1	-	+	-	-
	Тепла підлога	P2.2	-	-	+	+
	Обігрівач	P2.3	-	-	-	+
Кімната 1		P3	T8	T9	T10	T11
	Кондиціонер	P3.1	-	+	-	-
	Тепла підлога	P3.2	-	-	+	+
	Обігрівач	P3.3	-	-	-	+
Кімната 2		P4	T12	T13	T14	
	Тепла підлога	P4.1	-	+	+	
	Обігрівач	P4.2	-	-	+	
Коридор		P5	T15	T16		
	Тепла підлога	P5.1	-	+		

2.3 Моделі роботи приладів будинку на основі мереж Петрі

Алгоритм штучної нейронної мережі використовується для автоматизованого прийняття рішення для спрацювання відповідного переходу активації приладів клімат-контролю. Даними, що подаються на вхідний зовнішній шар штучної нейронної мережі є дані про присутність людей у кожній зоні моніторингу, температуру у кожній зоні моніторингу, зовнішню температуру, дату, час доби та поточні значення станів приладів клімат-контролю. Даними на вихідному зовнішньому шарі штучної нейронної мережі є значення у потребі спрацювання відповідного переходу для зміни станів роботи приладів клімат-контролю.

Наприклад, відображення нейронної мережі з двома прихованими шарами, яка на вхід приймає параметри присутності мешканців у будинку та температури, а на виході дає результат спрацювання переходу мережі Петрі, що відповідає за увімкнення системи кондиціонування зображено на Рисунку 3.13.

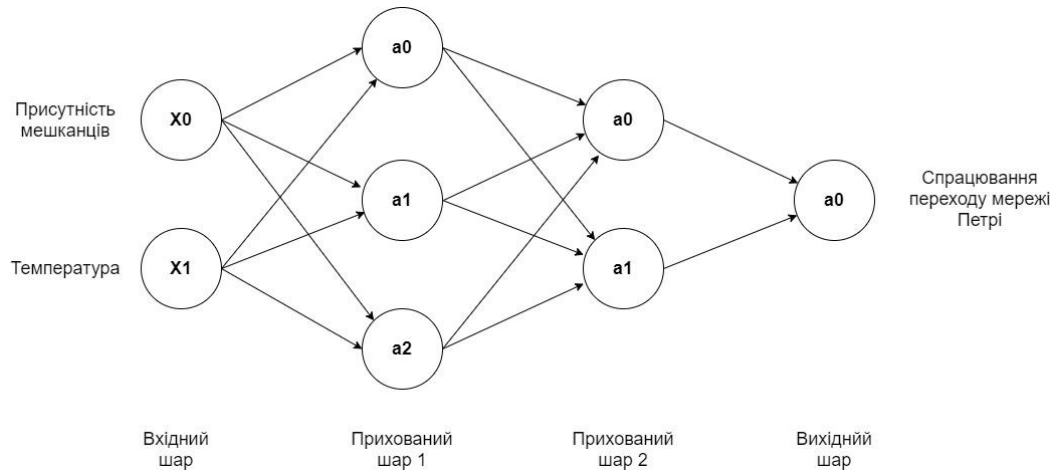


Рис. 2.13. Структури нейронної мережі для активації переходу мережі Петрі

Використання алгоритму штучної нейронної мережі забезпечує можливість автоматизованого налаштування приладів клімат-контролю для забезпечення комфортних температурних умов для мешканців помешкання базуючись на їхніх уподобаннях взятих із зібраних історичних даних. Використання мережі Петрі забезпечує надійність роботи системи клімат-контролю та унеможливорює виникнення конфліктних ситуацій завдяки представленню станів роботи окремих приладів за допомогою закритої та послідовної системи переходів.

Структура нейронної мережі керування переходами мережі Петрі підсистеми клімат-контролю помешкання зображена на Рисунку 2.14.

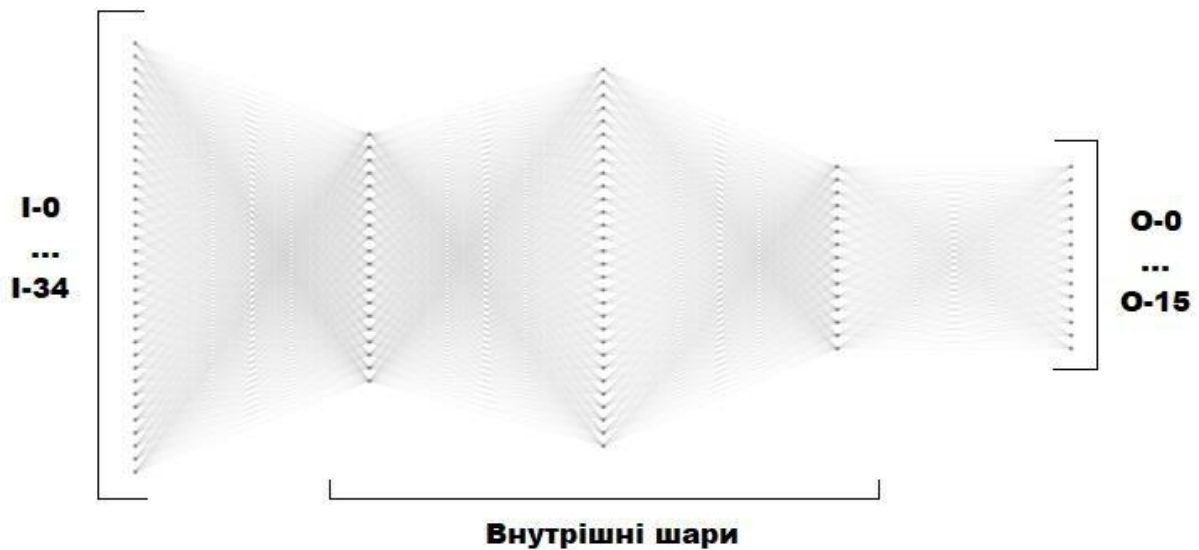


Рис. 2.14. Структура нейронної мережі керування переходами мережі Петрі підсистеми клімат-контролю помешкання

Таблиця 2.7.

Таблиця нейронів вхідного та вихідного шарів нейронної мережі визначення спрацювання переходів мережі Петрі підсистеми клімат-контролю помешкання

Вхідні дані нейромережі		Вихідні дані нейромережі	
ID	Опис даних	ID	Опис даних
I-0	Присутність людей у зоні L1.1	O-0	Спрацювання переходу T1
I-1	Присутність людей у зоні L1.2	O-1	Спрацювання переходу T2
I-2	Присутність людей у зоні L2.1	O-2	Спрацювання переходу T3
I-3	Присутність людей у зоні L2.2	O-3	Спрацювання переходу T4
I-4	Присутність людей у зоні L2.3	O-4	Спрацювання переходу T5
I-5	Присутність людей у зоні L3	O-5	Спрацювання переходу T6
I-6	Присутність людей у зоні L4	O-6	Спрацювання переходу T7
I-7	Присутність людей у зоні L5.1	O-7	Спрацювання переходу T8
I-8	Присутність людей у зоні L5.2	O-8	Спрацювання переходу T9
I-9	Температура у зоні 1	O-9	Спрацювання переходу T10
I-10	Температура у зоні 2	O-10	Спрацювання переходу T11
I-11	Температура у зоні 3	O-11	Спрацювання переходу T12
I-12	Температура у зоні 4	O-12	Спрацювання переходу T13
I-13	Температура у зоні 5	O-13	Спрацювання переходу T14
I-14	Температура у зоні 6	O-14	Спрацювання переходу T15
I-15	Зовнішня температура	O-15	Спрацювання переходу T16
I-16	Дата		
I-17	Час доби		
I-18	Значення стану P0.0		
I-19	Значення стану P1.0		
I-20	Значення стану P1.1		

I-21	Значення стану P1.2
I-22	Значення стану P2.0
I-23	Значення стану P2.1
I-24	Значення стану P2.2
I-25	Значення стану P2.3
I-26	Значення стану P3.0
I-27	Значення стану P3.1
I-28	Значення стану P3.2
I-29	Значення стану P3.3
I-30	Значення стану P4.0
I-31	Значення стану P4.1
I-32	Значення стану P4.2
I-33	Значення стану P5.0
I-34	Значення стану P5.1

Підсистема моніторингу енергоефективності працює на основі застосування алгоритму штучної нейронної мережі. Модель штучної нейронної мережі тренованої на основі історичних даних зібраних під час проживання користувачів системи у помешканні до запровадження системи “розумного” будинку. Історичний набір даних містить інформацію про присутність людей у кожній окремій зоні моніторингу, температуру повітря у кожній зоні, зовнішню температуру повітря, дату, час доби та значення енерговитрат кожної електричної розетки під час її роботи. Зазначені показники набору даних є даними для зовнішнього вхідного шару штучної нейронної мережі. Вихідними даними зовнішнього вихідного шару штучної нейронної мережі є коефіцієнти ефективності роботи кожної окремої розетки. Під час процесу навчання штучної нейронної мережі дані коефіцієнти відображали ефективність енергоспоживання та часу роботи. Під час поточного використання моделі штучної нейронної мережі під час виявлення аномального енергоспоживання однією з розеток, коефіцієнт ефективності роботи розетки отриманий на виході штучної нейронної мережі буде низьким, що буде підставою надсилання повідомлення користувачам системи про відповідні втрати енергоресурсів. Структура нейронної мережі для моніторингу ефективності використання електроенергії у приміщеннях помешкання зображена на Рисунку 2.15.

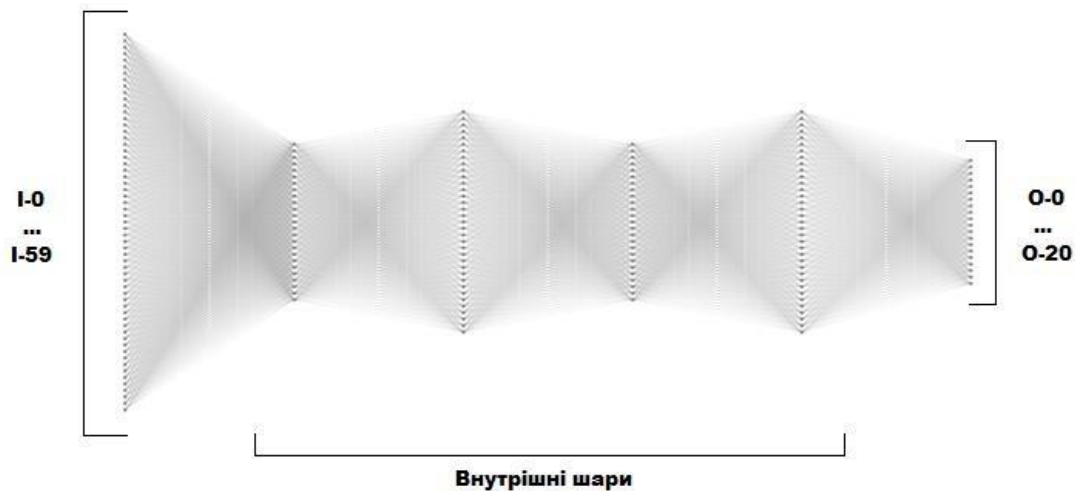


Рис. 2.15. Структура нейронної мережі для моніторингу ефективності використання електроенергії у приміщеннях помешкання

Таблиця 2.8.

Таблиця нейронів вхідного та вихідного шарів нейронної мережі підсистеми моніторингу ефективності використання електроенергії у приміщеннях помешкання

Вхідні дані нейромережі		Вихідні дані нейромережі	
ID	Опис даних	ID	Опис даних
I-0	Енергоспоживання розетки P1.1	O-0	Коефіцієнт ефективності розетки P1.1
I-1	Енергоспоживання розетки P1.2	O-1	Коефіцієнт ефективності розетки P1.2
I-2	Енергоспоживання розетки P1.3	O-2	Коефіцієнт ефективності розетки P1.3
I-3	Енергоспоживання розетки P1.4	O-3	Коефіцієнт ефективності розетки P1.4
I-4	Енергоспоживання розетки P1.5	O-4	Коефіцієнт ефективності розетки P1.5
I-5	Енергоспоживання розетки P1.6	O-5	Коефіцієнт ефективності розетки P1.6
I-6	Енергоспоживання розетки P1.7	O-6	Коефіцієнт ефективності розетки P1.7
I-7	Енергоспоживання розетки P2.1	O-7	Коефіцієнт ефективності розетки P2.1
I-8	Енергоспоживання розетки P2.2	O-8	Коефіцієнт ефективності розетки P2.2
I-9	Енергоспоживання розетки P2.3	O-9	Коефіцієнт ефективності розетки P2.3
I-10	Енергоспоживання розетки P2.4	O-10	Коефіцієнт ефективності розетки P2.4
I-11	Енергоспоживання розетки P2.5	O-11	Коефіцієнт ефективності розетки P2.5
I-12	Енергоспоживання розетки P3.1	O-12	Коефіцієнт ефективності розетки P3.1
I-13	Енергоспоживання розетки P3.2	O-13	Коефіцієнт ефективності розетки P3.2
I-14	Енергоспоживання розетки P3.3	O-14	Коефіцієнт ефективності розетки P3.3
I-15	Енергоспоживання розетки P3.4	O-15	Коефіцієнт ефективності розетки P3.4
I-16	Енергоспоживання розетки P3.5	O-16	Коефіцієнт ефективності розетки P3.5
I-17	Енергоспоживання розетки P4.1	O-17	Коефіцієнт ефективності розетки P4.1
I-18	Енергоспоживання розетки P5.1	O-18	Коефіцієнт ефективності розетки P5.1
I-19	Енергоспоживання розетки P5.2	O-19	Коефіцієнт ефективності розетки P5.2
I-20	Енергоспоживання розетки P5.3	O-20	Коефіцієнт ефективності розетки P5.3

I-21	Час роботи розетки P1.1	
I-22	Час роботи розетки P1.2	
I-23	Час роботи розетки P1.3	
I-24	Час роботи розетки P1.4	
I-25	Час роботи розетки P1.5	
I-26	Час роботи розетки P1.6	
I-27	Час роботи розетки P1.7	
I-28	Час роботи розетки P2.1	
I-29	Час роботи розетки P2.2	
I-30	Час роботи розетки P2.3	
I-31	Час роботи розетки P2.4	
I-32	Час роботи розетки P2.5	
I-33	Час роботи розетки P3.1	
I-34	Час роботи розетки P3.2	
I-35	Час роботи розетки P3.3	
I-36	Час роботи розетки P3.4	
I-37	Час роботи розетки P3.5	
I-38	Час роботи розетки P4.1	
I-39	Час роботи розетки P5.1	
I-40	Час роботи розетки P5.2	
I-41	Час роботи розетки P5.3	
I-42	Присутність людей у зоні L1.1	
I-43	Присутність людей у зоні L1.2	
I-44	Присутність людей у зоні L2.1	
I-45	Присутність людей у зоні L2.2	
I-46	Присутність людей у зоні L2.3	
I-47	Присутність людей у зоні L3	
I-48	Присутність людей у зоні L4	
I-49	Присутність людей у зоні L5.1	
I-50	Присутність людей у зоні L5.2	
I-51	Температура у зоні 1	
I-52	Температура у зоні 2	
I-53	Температура у зоні 3	
I-54	Температура у зоні 4	
I-55	Температура у зоні 5	
I-56	Температура у зоні 6	
I-57	Зовнішня температура	
I-58	Дата	
I-59	Час доби	

Висновки до розділу 2

Використання алгоритмів штучної нейронної мережі для автоматизованого прийняття рішень та застосування мереж Петрі для обмеження дій нейронної мережі та для легких завдань, що не потребують прийняття рішень штучним інтелектом, забезпечують надійність роботи системи та безпеку користувачів системи при потенційному виникненні ситуації невірно прийнятого автоматизованого рішення системою.

Результатами запровадження моделей та засобів управління системами «розумного» будинку з використанням технологій хмарних обчислень та алгоритмів штучного інтелекту є наступні пункти:

1. Отримала подальший розвиток модель для управління підсистемами «розумного» будинку на основі мереж Петрі, що дає змогу дослідити динаміку проектованої системи «розумного» будинку.
2. Розроблено моделі на основі штучних нейронних мереж для моніторингу ефективності використання електроенергії, що дає змогу виявлення аномального споживання енергії електроприладами у будинку.
3. Розроблено моделі на основі синтезу штучних нейронних мереж та мереж Петрі для керування системою клімат контролю, що дає змогу змінювати режими клімату для забезпечення комфортної температури для користувачів, водночас обмежуючи дії прийняття рішень системою для запобігання виникнення конфліктних режимів роботи приладів.
4. Розроблено моделі на основі мереж Петрі для керування системою освітлення, що дає змогу змінювати налаштування освітлювальних приладів відповідно до активності мешканців у зонах моніторингу приміщень.

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПРИЛАДАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ

3.1 Особливості розроблення програмного забезпечення інформаційної технології

Програмні компоненти розробленої системи поділяються на внутрішньо- та зовнішньо- системні. До внутрішньосистемних належать компоненти, які відносяться до клієнтської та серверної частини. До компонентів клієнтської частини належать: модуль збору параметрів сенсорів, модуль перетворення параметрів, модуль головного контролера, модель автоматизованого прийняття рішень, модуль збереження стану компонентів системи, модуль управління базою даних, модель комунікації з віддаленим сервером, модуль управління приладами.

До компонентів серверної частини належать: модуль аналітики збережених даних, модель комунікації з клієнтськими частинами, модуль головного контролера, модуль збереження даних від клієнтських контролерів, модуль тестування роботи створених моделей, модуль управління базою даних, модуль навчання моделей штучних нейронних мереж.

До зовнішньосистемних модулів належать: віддалені бази даних, мережевий шлюз, хостинг інтерфейсу управління сервером, модуль нотифікації користувачів, сенсори та прилади.

Діаграма компонентів розробленої системи «розумного» будинку зображена на Рисунку 3.7.

Компоненти системи взаємодіють між собою наступним чином. Користувач системи рухаючись у приміщеннях задіює спрацювання сенсорів у помешканні. Спрацювання сенсорів активує відправку аналогового сигналу до клієнтського контролера. Контролер запускає процес аналого-цифрового перетворення значення сигналу. На основі перетвореного значення сигналу сенсором створюється новий стан

налаштувань системи у помешканні. Значення команди змін налаштувань відповідно до нового стану системи відправляються до побутових приладів у помешканні. Змінюючи власні налаштування побутові прилади надсилають підтвердження зміни налаштування клієнтському контроллеру. Контроллер відправляє повідомлення користувачу про зміну налаштувань за допомогою електронних листів повідомлення SMS та пуш нотифікації мобільних пристроїв. Також, клієнтський контроллер відправляє дані про зафіксовану сенсором подію та загальний стан системи серверній частині. На стороні серверної частини відбувається процес навчання моделі штучної нейронної мережі. Дані винекненої події, стану системи та розрахована нова модель штучної нейронної мережі надсилається до віддаленої бази даних для подальшого збереження та використання у процесі навчання штучної нейронної мережі. Нова розрахована модель штучної нейронної мережі відправляється серверною частиною до клієнтської частини для подальшого збереження та використання у процесі калькуляції нових станів системи. Діаграма комунікацій компонентів розробленої системи «розумного» будинку зображена на Рисунку 3.8.

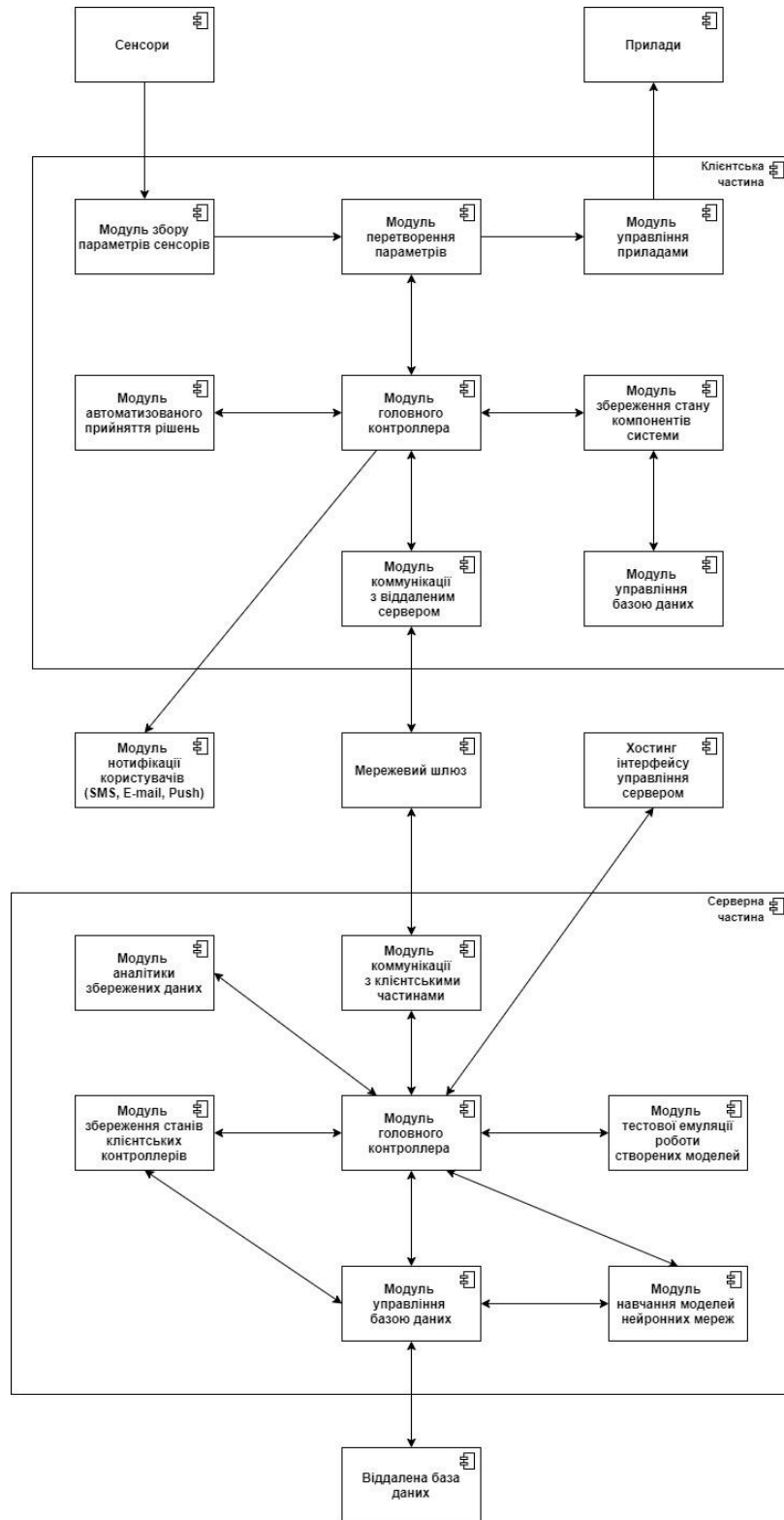


Рис. 3.7. Діаграма компонент розробленої системи «розумного» будинку

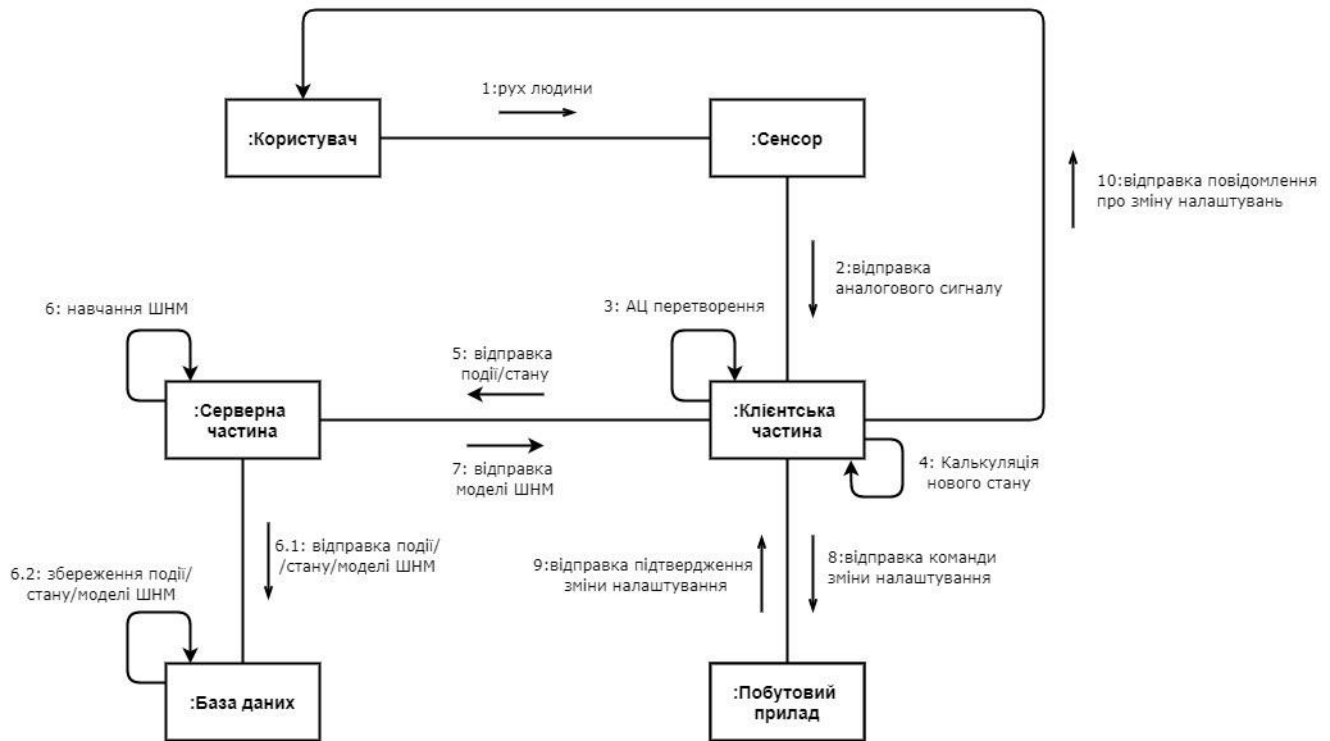


Рис. 3.8. Діаграма комунікацій компонентів розробленої системи

Класи програмної реалізації системи відповідають головним модулям та компонентам клієнтської та серверної частини. Програмними класами клієнтської частини є: клас відповідальний за збір даних від сенсорів, клас відповідальний за конвертацію сигналів сенсорів та конвертацію команд для побутових приладів, клас головного контролера, клас відповідальний за реалізацію автоматизованого процесу прийняття рішень, клас управління базою даних, клас відповідальний за комунікацію серверної частини.

Програмними класами серверної частини є: клас відповідальний за аналітику даних, клас відповідальний за комунікацію з клієнтською частиною, клас головного контролера серверної частини, клас управління базами даних, клас емуляції роботи моделей штучних нейронних мереж, клас відповідальний за тренування штучних нейронних мереж.

Діаграма класів клієнтської та серверної частини розробленої системи «розумного» будинку зображена на Рисунку 3.9.

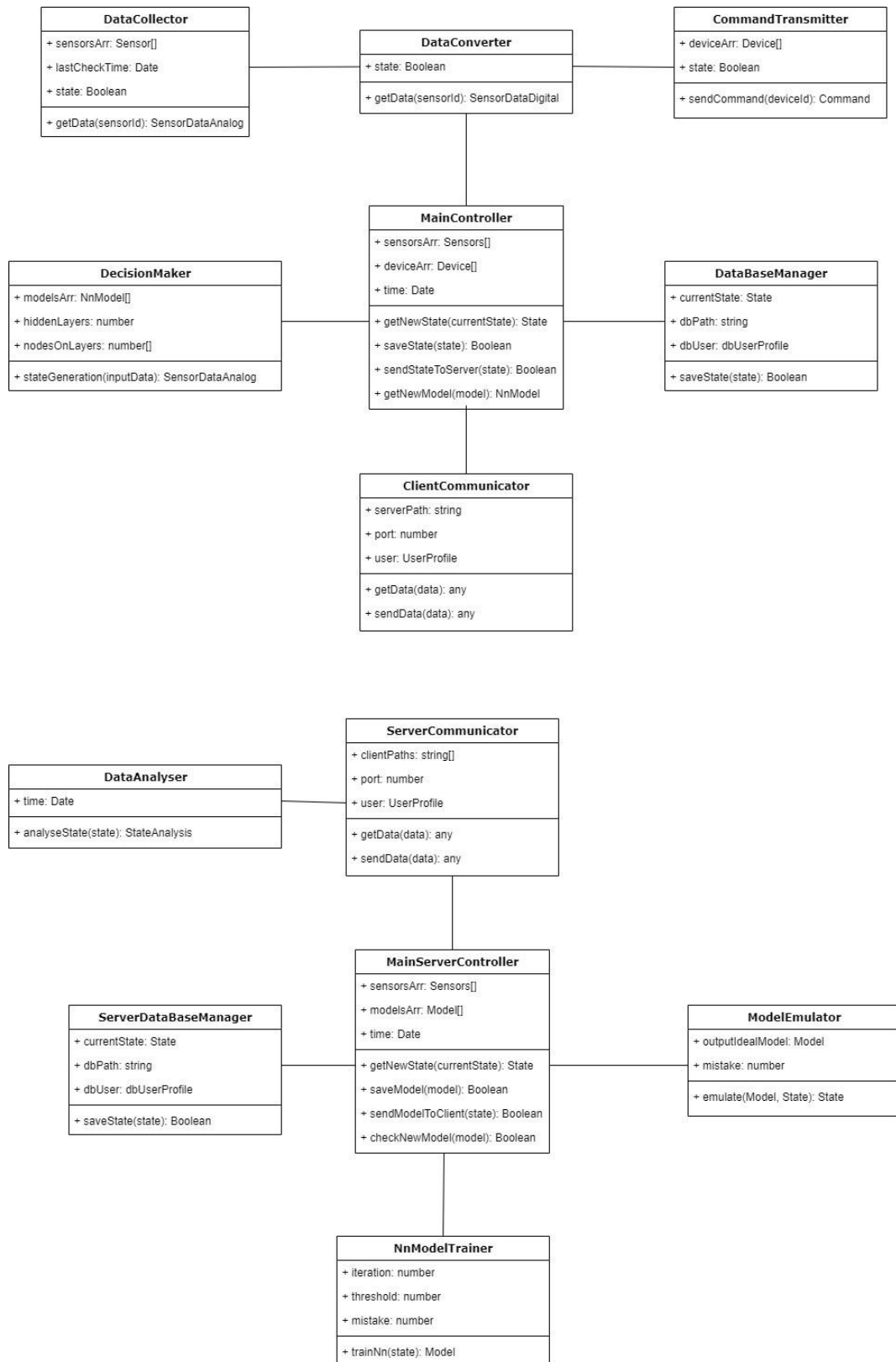


Рис. 3.9. Діаграма класів клієнтської та серверної частини розробленої системи «розумного» будинку

Структура програмного забезпечення серверної частини розробленої системи базується на мікросервісному архітектурному стилі, що на відміну від монолітного де вся логіка знаходиться у одній кодовій базі, створена як сукупність невеличких сервісів, кожен з яких працює у своєму власному ізольованому процесі та спілкується з рештою, використовуючи прості та швидкі протоколи передачі даних. Під час розробки програмного забезпечення були поставлені наступні вимоги до кожного окремо розробленого мікросервісу: мікросервіс виконує одну достатньо просту логічну функцію та його можливо просто оновити без втрати попереднього функціоналу. Використання мікросервісної архітектури надало ряд суттєвих переваг у порівнянні з використанням «класичного» монолітного підходу. Розроблені мікросервіси є незалежними один від одного, тому дефекти у одному мікросервісі не повпливають на роботу решти і система буде функціонувати з мінімальними простоями. Також систему побудовану з використанням мікросервісної архітектури легко масштабувати, бо у разі потреби не треба масштабувати всю систему вцілому, а можна масштабувати тільки окрему частину функціоналу на яку припадає найбільше навантаження.

Розділивши функціонал системи на окремі мікросервіси, легко запровадити використання Lambda-функцій, що є типом «безсерверних» обчислень, який дозволяє виконувати програмний код без необхідності створювати сервери і налаштовувати їх, створювати логіку масштабування кластера з урахуванням робочих навантажень, підтримувати інтеграцію подій або керувати часом виконання функцій. Налаштування апаратного забезпечення у даній схемі використання є відповідальністю провайдера хмарних обчислень. Запуск Lambda-функцій відбувається у відповідь на заздалегідь визначені події чи стани системи, такі як отримання нових даних від сенсорів у помешканнях, завершення створення нової моделі штучної нейронної мережі, або запиту на зміну налаштувань з веб-інтерфейсу користувача. Так як Lambda-функції можуть бути розроблені за допомогою різних мов програмування, використання такого підходу дозволяє розробляти окремі частини функціоналу системи на мовах програмування, що найкраще підходять для вирішення окремих задач. Перевагою з

фінансової точки зору є стягнення оплати більшістю сервісів хмарних обчислень суто за час виконання Lambda-функцій. Під час закінчення опрацювання події Lambda-функція припиняє свій життєвий цикл та сервіс хмарних обчислень припиняє стягнення оплати на час простою системи, що відрізняється від решти схем надання обчислювальних ресурсів (розгортання виділених серверів, тощо), що вимагають оплати за фіксовані терміни оренди обладнання без врахування рівня його фактичного використання.

Для оптимізації використання обчислювальних ресурсів мікросервісами представленими Lambda-функціями, прискорення їх роботи та гнучкого управління залежностями програмного забезпечення, використана віртуалізація на рівні операційної системи. Застосований метод віртуалізації базується на роботі ядра операційної системи, що підтримує декілька ізольованих примірників простору користувача, замість одного, котрі називаються контейнерами. Ядро забезпечує повну ізольованість контейнерів, тому програми з різних контейнерів не можуть впливати одна на одну. Таким чином не має потреби встановлювати гостьову операційну систему для кожного окремого сервісу, що є найзатратнішим процесом з точки зору використання обчислювальних ресурсів. Кожна окрема логічна функціональність серверної частини системи представлена Lambda-функцією, розміщується у ізольованому програмному контейнері за допомогою технології Docker. Використання контейнерів дозволяє ізольовувати окремі процеси та запускати мікросервіси як повністю незалежні компоненти, як з точки зору як функціоналу, так і з точки зору використовуваних обчислювальних ресурсів. Розгортання контейнерів з мікросервісами системи відбувається за допомогою сервісу оркестрації контейнерів Amazon Elastic Container Service. Схема порівняння потрібної кількості програмних обчислювальних ресурсів при використанні класичної віртуалізації та контейнеризації зображено на Рисунку 3.10.

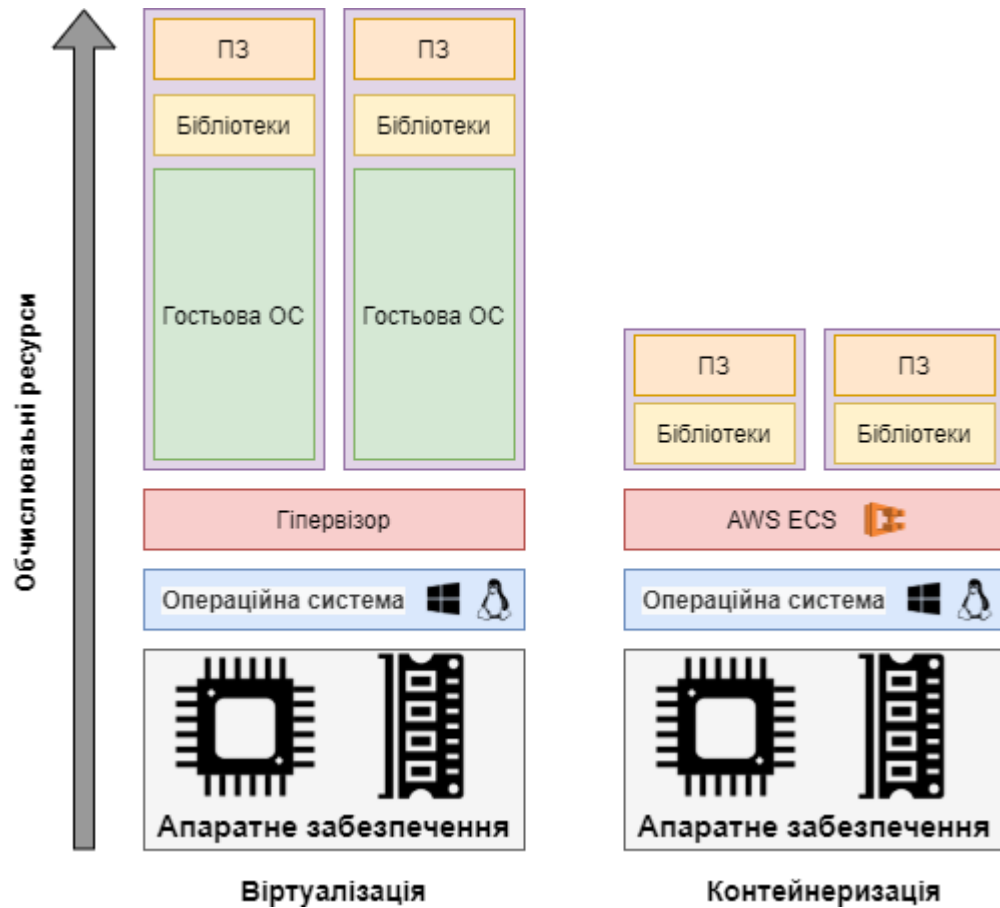


Рис. 3.10. Схема порівняння кількості програмних обчислювальних ресурсів при використанні класичної віртуалізації та контейнеризації

Для реалізації процесу створення та навчання моделей штучного інтелекту використаний сервіс AWS SageMaker, що є сервісом машинного навчання, який надає можливості швидко проводити процес навчання та розгортання моделей машинного навчання. Сервіс SageMaker бере на себе більшу частину роботи на кожному етапі машинного навчання, щоб спростити розробку високоякісних моделей. У розробленій системі сервіс Amazon SageMaker використаний для створення та навчання моделей штучних нейронних мереж для керування переходами мереж Петрі підсистеми клімат-контролю та системи автоматизованого моніторингу ефективності використання електроенергії. Штучні нейронні мережі для управління приладами під'єднаних до системи «розумного» будинку створені на основі платформи TensorFlow, що дозволяє

створювати штучні нейронні мережі за допомогою різних мов програмування, включно з мовою JavaScript. Схема взаємозв'язків сервісу Amazon SageMaker з сервісами AWS зображено на Рисунку 3.11.

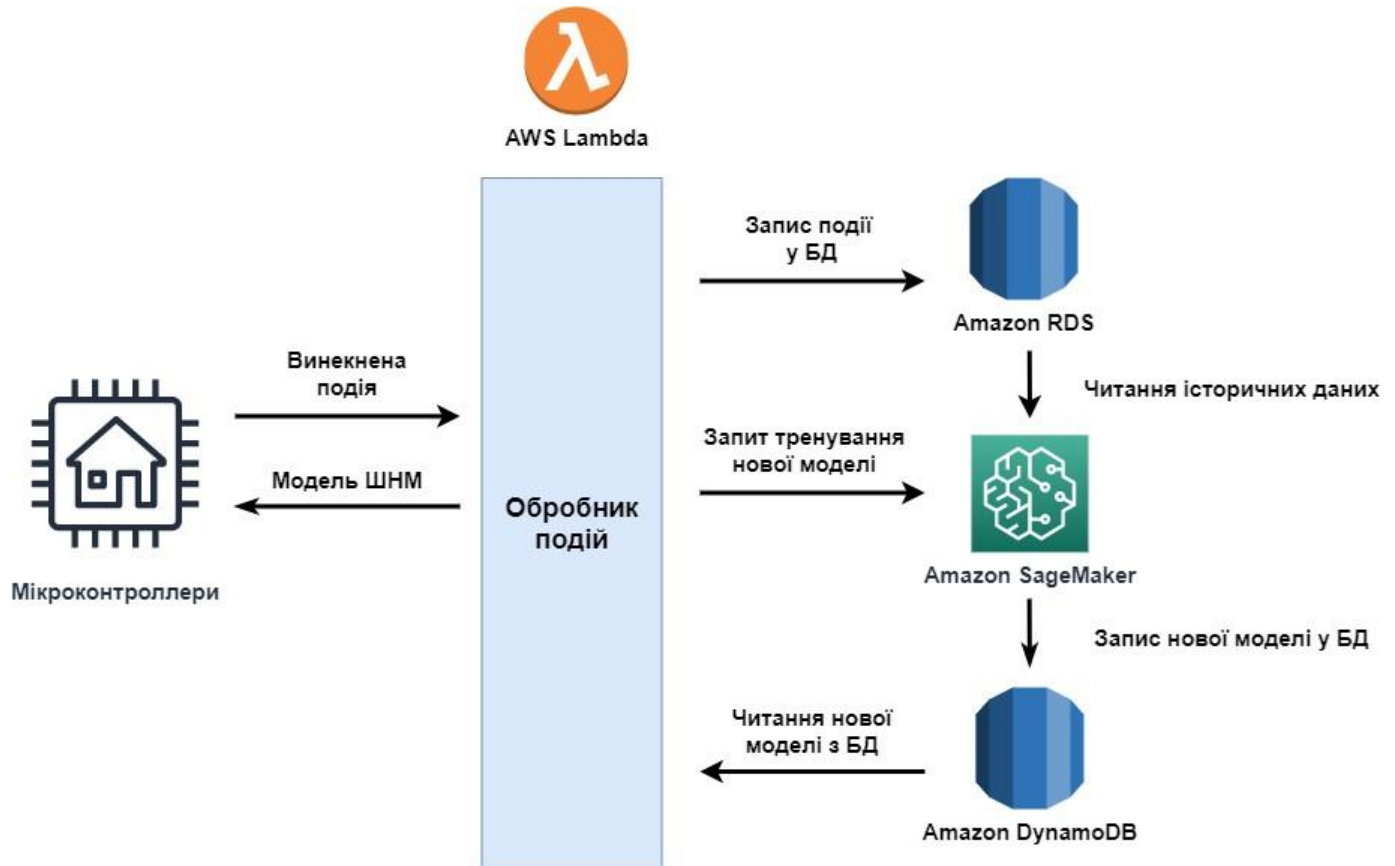


Рис. 3.11. Схема взаємозв'язків сервісу Amazon SageMaker з сервісами AWS

3.2 Розроблення інформаційного забезпечення програмних засобів

Основними структурами даних якими оперує розроблена система є об'єкти. Такими об'єктами є структури даних інформації про систему, стан загальних налаштувань системи, стан параметрів окремих кімнат, стан налаштувань приладів та інформація події від сенсорів. Об'єкт стану налаштувань системи зберігає дані про унікальний ідентифікатор системи, назву системи та адресу помешкання у якому система запроваджена. Об'єкт стану налаштувань системи містить інформацію про унікальний ідентифікатор стану системи, унікальний ідентифікатор клієнтського контроллера, гіперпосилання шляху серверу, поточну дату та час. Об'єкт стану

параметрів кімнати містить інформацію про унікальний ідентифікатор кімнати, назви кімнати, температуру у кімнаті, показник вологості у кімнаті, показник освітленості кімнати та кількість присутніх у кімнаті людей. Об'єкт стану налаштувань приладу містить інформацію про унікальний ідентифікатор приладу, стан увімкнення/вимкнення, інформацію про режим роботи, показник енергоспоживання, час безперервної роботи приладу. Об'єкт згенерованої події сенсору містить інформацію про унікальний ідентифікатор події, тип події, цифрове значення сенсору, дата виникнення події та час виникнення події.

Згадані об'єкти даних передаються від клієнтських частин до серверної частини системи за допомогою мережі Інтернет. Специфікою систем «розумного» будинку є велика кількість подій, яка надсилається на сервер від великої кількості клієнтів, що має бути опрацьована системою у режимі реального часу. Для забезпечення черги та підтвердження опрацювання подій, а також оптимізації навантаження на обчислювальні ресурси у розробленій системі використовується сервіс черги повідомлень Amazon Simple Queue Service (SQS). Даний сервіс реалізує архітектурний паттерн брокеру повідомлень у розподілених системах. Використання цього підходу дозволяє зберігати повідомлення, що надходять від клієнтів у черзі на опрацювання при пікових моментах надходження нових повідомлень без потреби виділяти додаткові обчислювальні ресурси для їх миттєвого опрацювання. Кожна збережена подія, буде опрацьована під час вивільнення обчислювальних ресурсів відповідно до порядку черги їх надходження. Сервіс Amazon Simple Queue Service гарантує доставку повідомлень до їхніх обробників, що підписані на оновлення черги відповідно до політики строго одноразової обробки повідомлень, тобто коли кожне повідомлення доставляється один раз і залишається доступним до тих пір, поки підписник не опрацює і не видалить його. Завдяки тому, що черги працюють за принципом «першим отримано - першим відправлено», зберігається точний порядок надсилання та отримання повідомлень. У реалізованій системі «розумного» будинку створено дві черги повідомлень: оперативна черга у яку надходять події, що використовуються для створення нових моделей штучних нейронних мереж, а

також черга історичних даних у яку надходять події для запису у документоорієнтовану базу даних, що будуть використані для подальшого аналізу і знаходження взаємозалежностей між подіями за допомогою штучного інтелекту. Розподіл подій між чергами відбувається за критерієм типу події, що надходять до системи використовуючи окрему AWS Lambda функцію, що запускається тільки після отримання нової події та не використовує обчислювальні ресурси під час періодів, коли зі сторони клієнів нових подій не виникає. Схема розподілу подій між чергами подій у системі «розумного» будинку зображена на Рисунку 3.12.

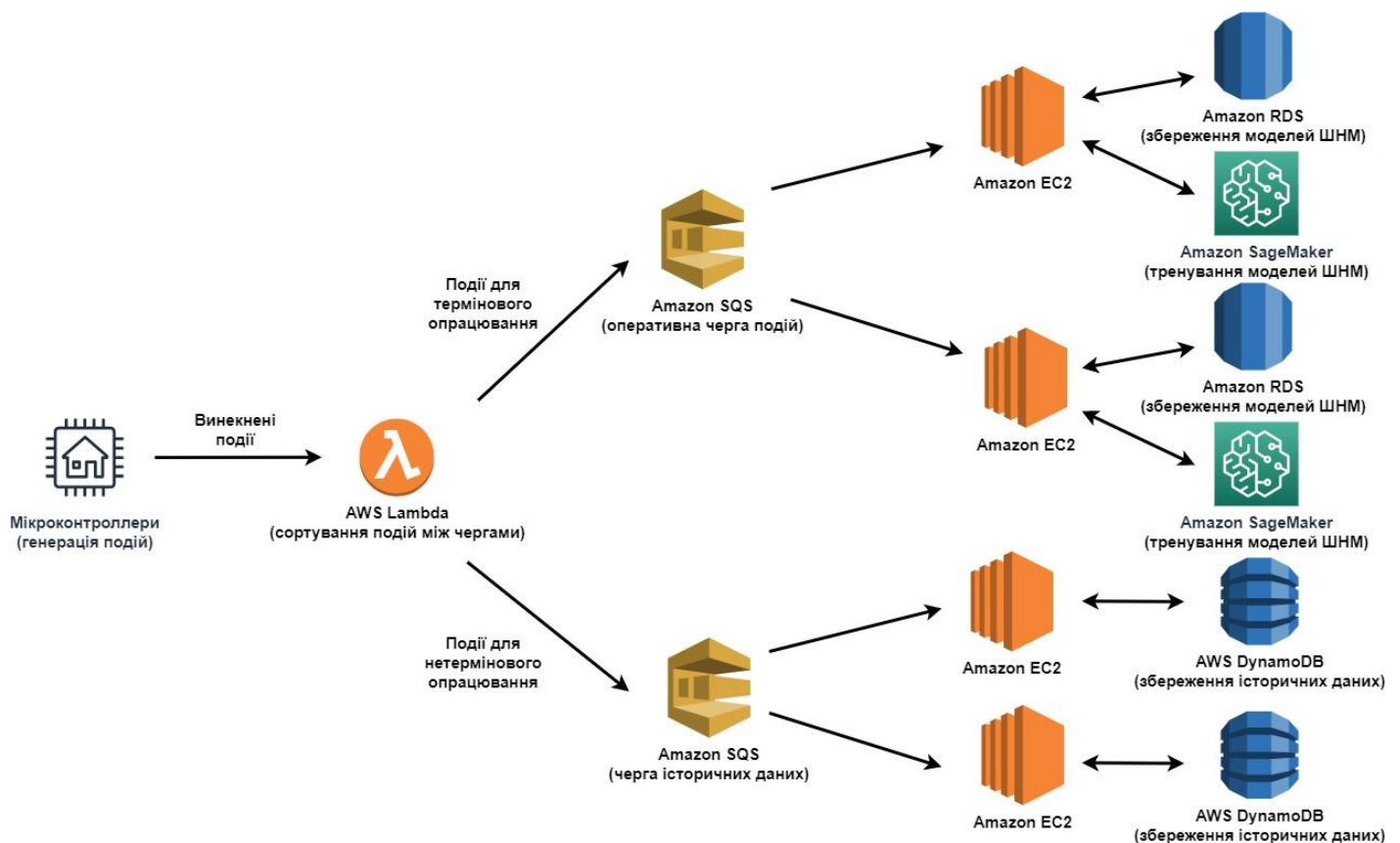


Рис. 3.12. Схема розподілу подій між чергами подій у системі «розумного» будинку

Діаграма об'єктів оперованих даних розробленою системою «розумного» будинку зображена на Рисунку 3.13.

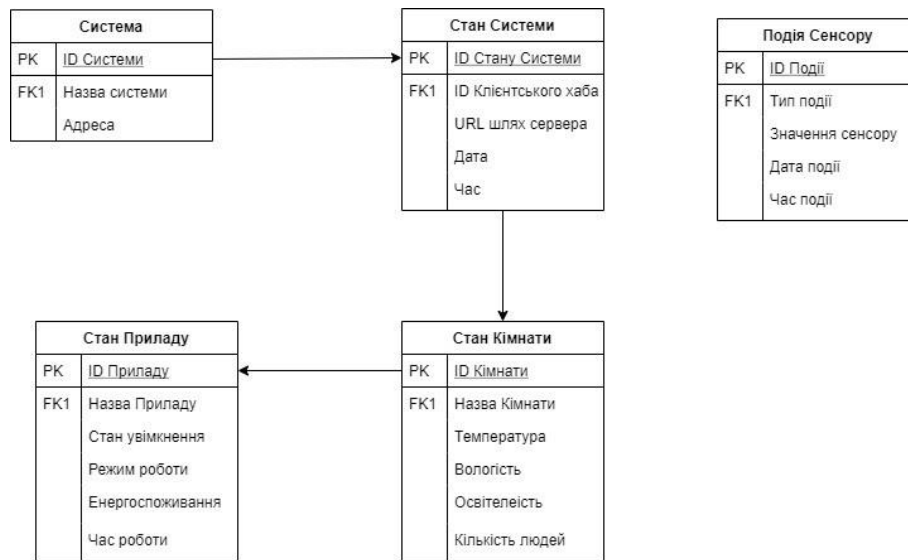


Рис. 3.13. Діаграма об'єктів оперованих даних розробленою системою «розумного» будинку

Структура бази даних розробленої системи «розумного» будинку побудована на базі структур об'єктів якими оперує розроблена система. Дані про поточний та історичний стани клієнтських частин системи та налаштування під'єднаних до них приладів зберігаються у об'єктноорієнтованій базі даних. Об'єктноорієнтована база даних дає можливість зберігати інформацію, що не має однорідної структури полів та визначених типів даних властивостей об'єктів, що є особливістю даних, які стосуються налаштувань системи «розумного» будинку. Система зберігає налаштування різних типів приладів розроблених різними виробниками, що застосовують різні формати даних у роботі своїх продуктів.

Головний об'єкт бази даних інформації про систему має властивість об'єкта з інформацією про будівлі у яких систему запроваджено. Кожен об'єкт інформації про будівлю має властивість масиву об'єктів з інформацією про приміщення у будівлі. Кожен об'єкт інформації про приміщення має властивість масиву об'єктів інформації про сенсори та масиву об'єктів з інформацією про прилади розташованими у відповідних приміщеннях (Рисунок 3.14).

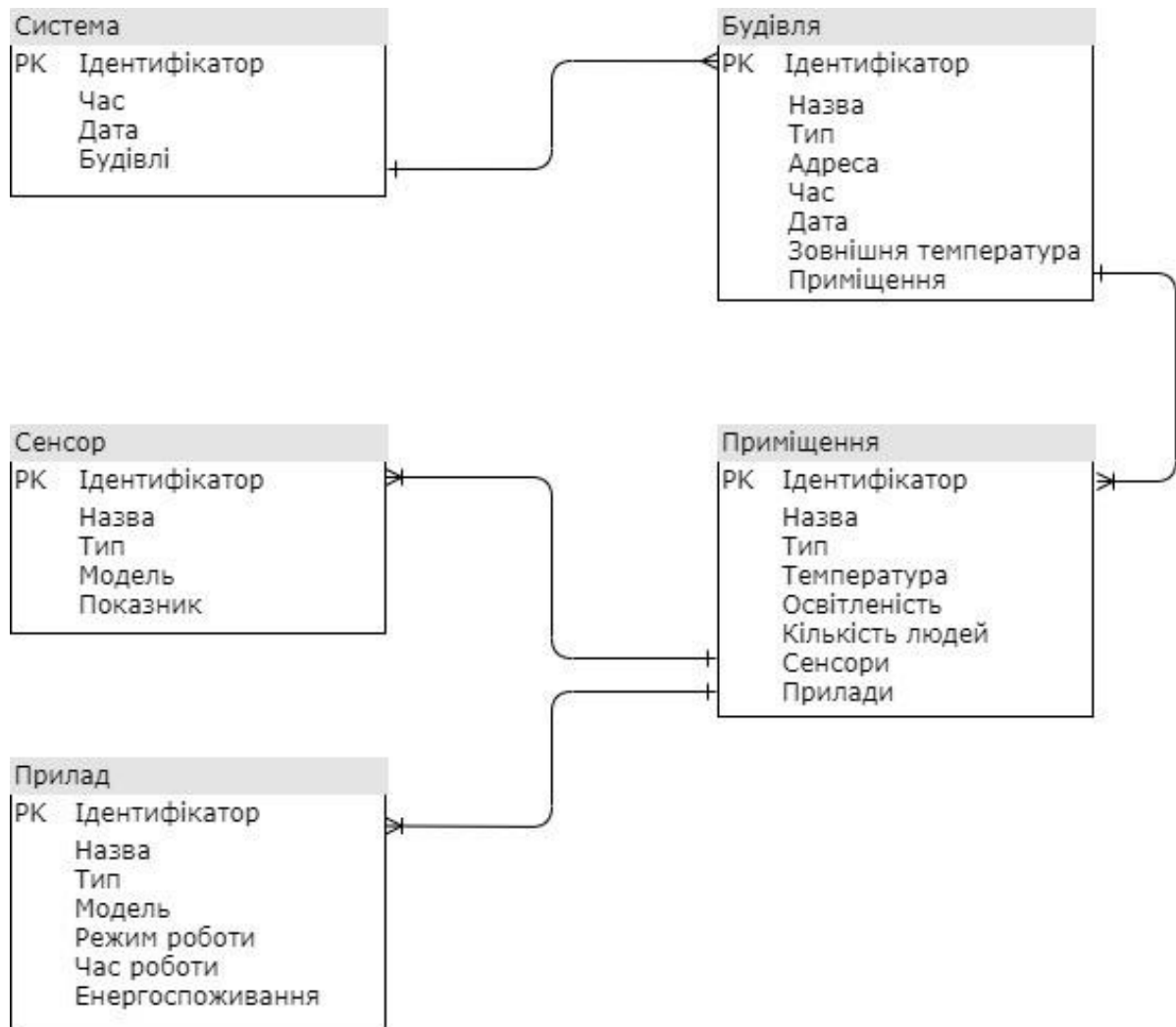


Рис. 3.14. Діаграма структури бази даних розробленої системи «розумного» будинку

Реалізація документоорієнтованої бази даних для зберігання інформації про стани клієнтських частин системи «розумного» будинку та інформації про налаштування під'єднаних до них приладів і сенсорів реалізоване за допомогою розподіленої бази даних Amazon DynamoDB. Amazon DynamoDB – це база даних пар «ключ-значення» і документів, яка забезпечує затримку менше 10 мілісекунд при роботі у будь-якому масштабі. Дана база даних працює в декількох регіонах з кількома активними серверами і має вбудовані засоби забезпечення безпеки, резервного копіювання та відновлення, а також кешування в пам'яті. Для підвищення швидкодії і стабільності роботи розробленої системи та забезпечення клієнтським частинам швидкого

доступу до операцій читання-запису інформації бази даних незалежно від географічного розташування розгорнутої клієнтської частини системи «розумного» будинку, база даних реплікується та розгортається у трьох регіональних зонах сервісів AWS (Європа, США, Азія). Таким чином запити від клієнтських частин системи будуть за допомогою сервісу Elastic Load Balancing автоматично перенаправлятися до географічно найближчої репліки бази даних, тим самим суттєво знижуючи час затримки операцій читання-запису інформації у БД. Одночасно даний підхід позитивно впливає на швидкодію системи під час пікових навантажень у окремому регіоні, коли Elastic Load Balancing автоматично перенаправлятиме запити до бази даних з меншим навантаженням на обчислювальні ресурси та більшою швидкістю віддачі результату, що розташована у іншому регіоні. Використання декількох реплік бази даних дозволяє надійне зберігання інформації за рахунок можливості швидкого відновлення бази даних після апаратного збою на основі збережених баз даних з реплік розташованих у інших регіонах.

Однорідна структура даних, що характерна для зберігання моделей штучних нейронних мереж дає змогу використати реляційну базу даних, яка зберігає дані у вигляді таблиць з чітко визначеними полями та дозволяє швидко опрацьовувати запити на читання великої кількості інформації з однорідною схемою даних. Для реалізації реляційної бази даних у розробленій системі використаний сервіс Amazon RDS, який спрощує налаштування, використання і масштабування реляційних баз даних у хмарі. Для підвищення швидкодії операцій читання-запису та надійності зберігання даних, використаний аналогічний підхід розгортання реплік баз даних у декількох географічних регіонах доступності. Також, за допомогою функціоналу, що надається сервісом Amazon RDS налаштовані правила вертикального масштабування бази даних під час пікових навантажень, тобто обчислювальні характеристики сервера бази даних (характеристики процесора та об'єму сховища даних) автоматично змінюються відповідно до поточного навантаження на БД.

У розробленій системі моделі штучних нейронних мереж зберігаються у таблицях бази даних, що містять фіксовані поля з даними про окремі нейрони, які відповідають індексу шару нейронної мережі на якому знаходиться нейрон, індексу нейрона у шарі та значення ваги нейрона. Для цього використовується база даних MySQL, що є найпопулярнішою в світі реляційною базою даних з відкритим програмним кодом. У свою чергу сервіс Amazon RDS спрощує налаштування, використання і масштабування розгортання MySQL в хмарі. За допомогою Amazon RDS можна всього за кілька хвилин виконати розгортання масштабованих серверів MySQL з можливістю налаштування обсягу апаратних ресурсів. Приклад структури таблиці бази даних для збереження моделі штучної нейронної мережі зображений у Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Структура таблиці бази даних для збереження моделі штучної нейронної мережі

Індекс шару ШНМ	Індекс нейрона у шарі ШНМ	Вага нейрона
1	1	0.4289569
1	2	0.75894125
1	3	0.00142589
2	1	0.14527896
2	2	0.85471236
2	3	0.34857469
...

Для підвищення надійності зберігання даних у БД, сервіс Amazon RDS визначає найпоширеніші сценарії відмови і виконує автоматичне відновлення роботи бази даних в найкоротші терміни без втручання адміністратора. Amazon RDS виконує автоматичну обробку відмови при втраті доступу до БД у первинній зоні доступності, збої обчислювального блоку основної БД та втраті мережевого підключення до БД. Сервіс Amazon RDS стежить за станом основного і резервних екземплярів БД і при виявленні різних збоїв автоматично ініціює обробку відмови. Також, сервіс Amazon RDS по замовчуванню створює та зберігає автоматичні резервні копії екземплярів БД у сервісі

Amazon S3 протягом визначеного періоду зберігання. Такий підхід дозволяє відновити екземпляри БД на будь-який момент терміну зберігання (з точністю до секунди), включно до останніх п'яти хвилин. Amazon S3 (Amazon Simple Storage Service) є сервісом сховища даних, тобто так званий файловий хостинг. За допомогою Amazon S3 досягається висока масштабованість, надійність, висока швидкість, недорога інфраструктура зберігання даних. Крім зберігання резервних копій баз даних, у розробленій системі дане сховище використовується для зберігання статичних файлів візуального інтерфейсу користувача та файлів логів помилок, що можуть бути використані в подальшому службою підтримки для знаходження записів про виникнені помилки під час роботи системи і подальшого їх усунення.

Для захисту історичних даних винекнених у помешканнях подій збережених у системі за допомогою сервісу Amazon RDS використовується шифрування даних у БД. Шифрування відбувається для даних, що знаходяться у всіх базах даних не залежно від регіону розгортання, а також для всіх збережених резервних копій БД. Централізоване управління ключами шифрування відбувається за допомогою сервісу AWS Key Management Service (KMS), що дозволяє створювати нові та налаштовувати права користування окремими ключами для окремих користувачів чи програмних сервісів. Перед записом, або читанням даних з БД, шифрування відбувається з використанням програмного засобу AWS Encryption SDK, що інтегрований з сервісом AWS Key Management Service, який надає доступ до ключів шифрування відповідно до налаштованих прав для конкретного користувача чи сервісу. Обчислювальні сервера спілкуються з серверами баз даних за допомогою шифрованого підключення використовуючи криптографічний протокол Transport Layer Security (TLS). Сервіс Amazon RDS створює сертифікати SSL і встановлює їх на серверах БД під час їх розгортання. Ці сертифікати підписані центром сертифікації та містять інформацію про доменне ім'я сервера БД. На етапі створення з'єднання, сервер БД посилає обчислювальному серверу свій сертифікат, щоб обчислювальний сервер ідентифікував його. Узгодження доменного імені і даних, зазначених у сертифікаті, відбувається

відповідно до протоколу RFC2459. Коли між серверами буде встановлено безпечне з'єднання, дані, що передаються по ньому, шифруються і розшифровуються з використанням симетричної криптосистеми до тих пір, поки з'єднання не буде завершено.

3.3 Розроблення архітектурного рішення та процесу розгортання розробленої системи «розумного» будинку

Розгортання розробленої системи розумного будинку відбувається з використанням практик безперервної інтеграції та безперервної доставки програмного забезпечення. Практика безперервної інтеграції дозволяє регулярно об'єднувати зміни програмного коду у центральному репозиторії, після чого автоматично виконувати збірку програмних пакетів, автоматизованого тестування і запуску на виконання. Поняття безперервної інтеграції найчастіше застосовується до стадії збірки програмних пакетів чи інтеграції процесу розгортання програмного забезпечення і включає в себе як автоматизацію (наприклад, сервіс безперервної інтеграції або збірки), так і культуру розробки (наприклад, навчання до практики частоті інтеграції ПЗ). Головною перевагою запровадження практики безперервної інтеграції є можливість швидко знаходити і виправляти помилки функціоналу системи «розумного» будинку, покращувати якість програмного забезпечення і скорочувати тимчасові витрати на перевірку і випуск нових оновлень. Запровадження практики безперервної інтеграції у середовищі хмарних обчислень реалізовано за допомогою сервісу AWS CodeBuild. Після внесення змін у програмне забезпечення в репозиторії кодової бази системи за допомогою системи контролю версій Git, сервіс безперервної інтеграції реагує на ці зміни автоматичним запуском процесу збірки програмних пакетів, що містять останні внесені зміни. Після успішного проходження етапу збірки сервіс безперервної інтеграції запускає процес автоматизованого тестування новоствореного програмного пакету на відповідність функціональним вимогам. Результатом даного етапу є звіт про успішність пройденого тестування з фінальним пакетом програмного забезпечення, або звіт з описом знайдених

помилки та вразливостей. Стадії проходження програмного коду через сервіси AWS для завершального етапу розгортання на серверах зображено на Рисунку 3.15.

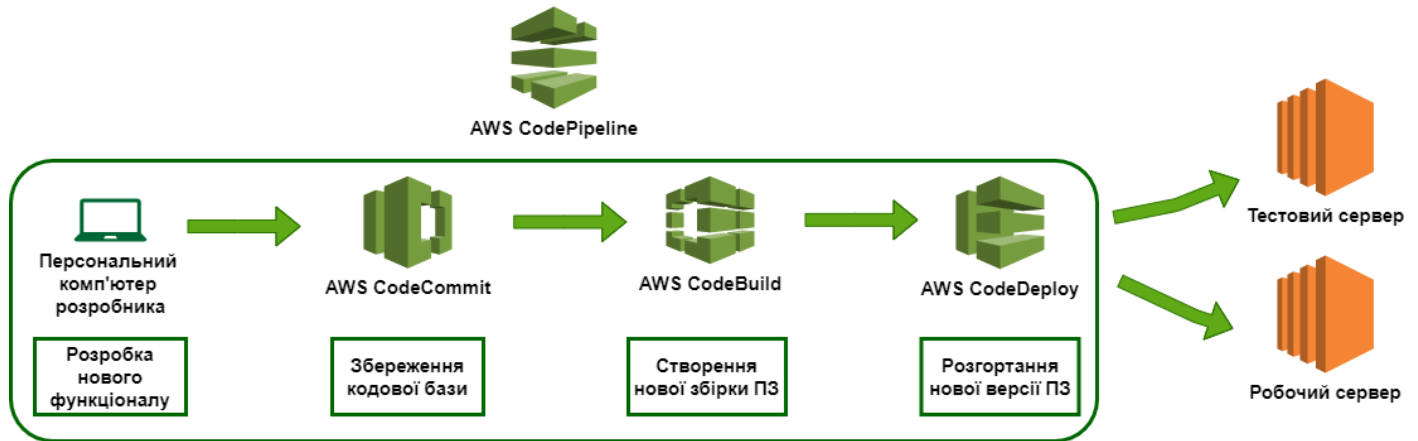


Рис. 3.15. Стадії проходження програмного коду через сервіси AWS для завершального етапу розгортання на серверах

Практика безперервної доставки дозволяє при будь-яких змінах у програмному коді виконувати процеси автоматичної збірки програмних пакетів, автоматизованого тестування і підготовки до остаточного випуску програмного забезпечення. Безперервна доставка є одним з основоположних принципів розробки сучасних додатків, оскільки розширює практику безперервної інтеграції за рахунок того, що всі зміни коду після стадії збірки програмних пакетів розгортаються у тестовому або у робочому середовищі. Правильне впровадження практики дозволило мати готовий до розгортання зібраний екземпляр програмного забезпечення серверної частини системи «розумного» будинку, що пройшов стандартизовану процедуру тестування. Практика безсерверної доставки для розробленої системи «розумного» будинку реалізована з використанням сервісу AWS CodePipeline, що дозволяє отримувати результати успішної збірки програмних пакетів з сервісу AWS CodeBuild та автоматично розгортати їх на тестовому сервері для подальшого тестування системи вручну використавши сервіс AWS CodeDeploy. Також, після проведення ручного тестування останньої збірки і підтвердженні відповідності роботи системи функціональним та нефункціональним вимогам, за допомогою сервісу AWS CodePipeline було виконане налаштування правил автоматичного розгортання

збірок програмних пакетів на сервера використовуючи AWS CodeDeploy, що доступні кінцевим користувачам та клієнтським частинам системи.

Розгортання розробленої системи розумного будинку відбувається п'ятьма логічно групованими пакетами. Перший пакет розгортання веб серверу, містить модуль візуального представлення інтерфейсу користувача. Пакет сервісу нотифікації містить модуль повідомлень за допомогою електронних листів, модуля sms-повідомлень та модуль push-нотифікації. Пакет сервісу машинного навчання містить модуль тренування моделей штучної нейронної мережі та модуль емуляції роботи моделей штучної нейронної мережі. Пакет серверу бази даних містить модулі основної та резервної бази даних. Пакет сервісу логіки містить модуль комунікації з клієнтськими частинами, модуль аналізу даних та модуль головного контроллера. Діаграма розгортання розробленої системи «розумного» будинку зображена на Рисунку 3.16.

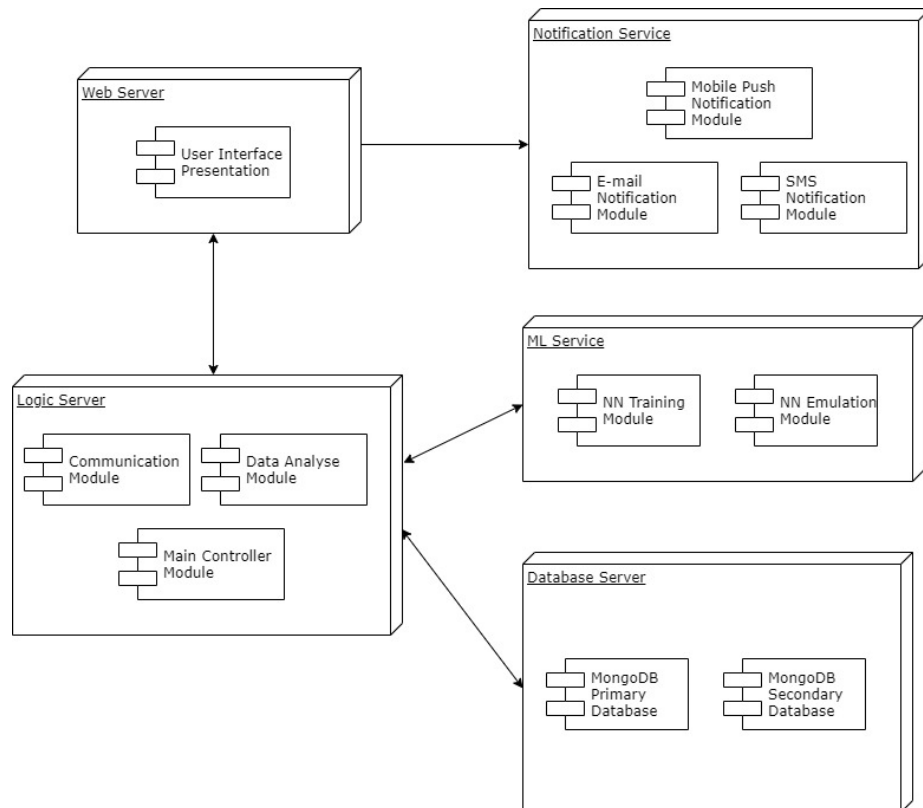


Рис. 3.16. Діаграма розгортання розробленої системи «розумного» будинку

Діаграма архітектурного рішення розробленої системи «розумного» будинку на основі платформи хмарних обчислень Amazon Web Services зображена на Рисунку 4.17.

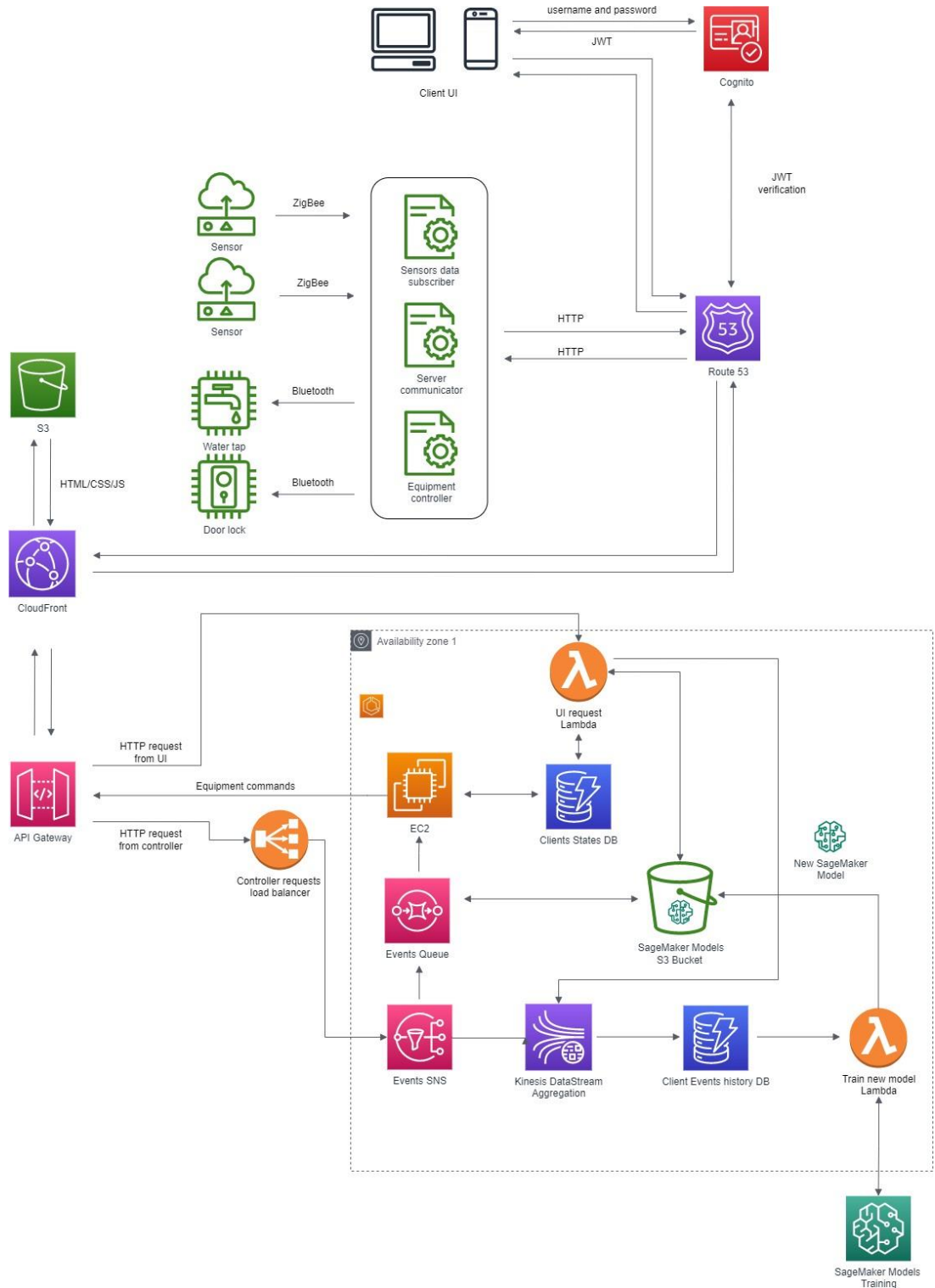


Рис. 3.17. Діаграма архітектурного рішення розробленої системи «розумного» будинку на основі платформи хмарних обчислень Amazon Web Services (AWS)

3.4 Результати дослідження

Початковий етап розробки системи був заснований на підході монолітної архітектури програмного забезпечення у результаті якого було отримано програмне забезпечення, що виконувало мінімальний набір функцій системи «розумного» будинку. Дане програмне забезпечення було представлено у вигляді цілісного рішення, яке розгорталось на одному апаратному приладі. Під час розгортання ПЗ на базі мікроконтролера Raspberri PI, при виконанні задач керування освітлювальними приладами та системою безпеки, що працюють з використанням алгоритмів «якщо-тоді» спостерігались показники середньогодинного навантаження процесора та завантаженості оперативної пам'яті мікроконтролера зображені на Рисунку 3.18.

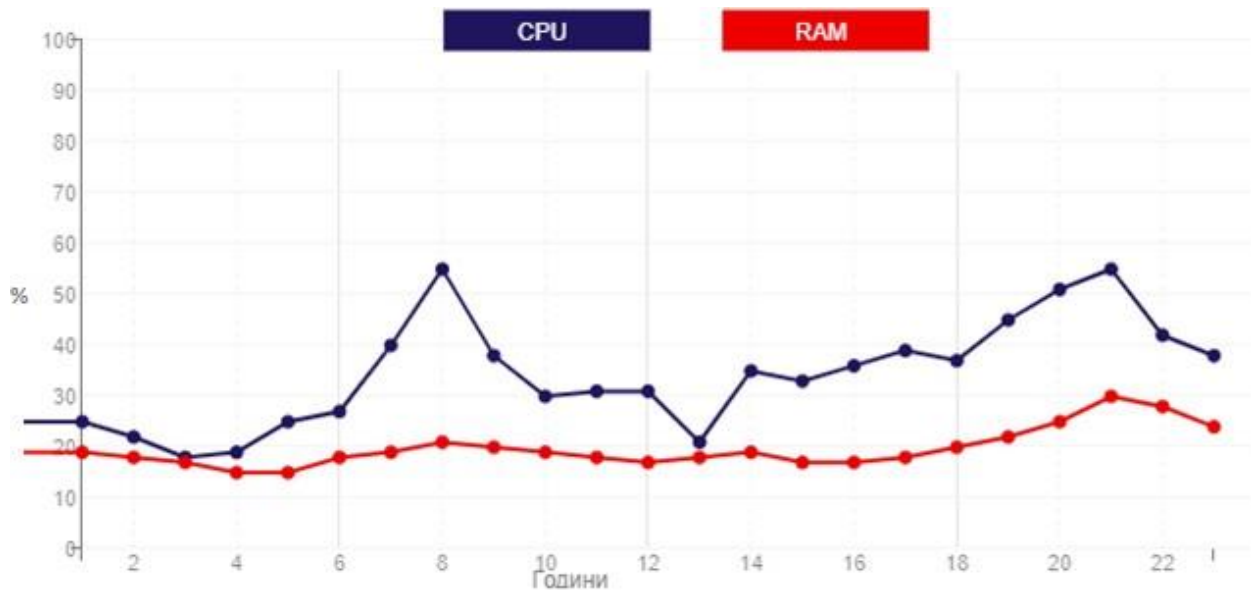


Рис. 3.18. Графіки середньогодинного навантаження мікроконтролера

Після запровадження функції тренування моделей штучної нейронної мережі та застосування цих моделей штучних нейронних мереж для керування спрацюванням переходів мереж Петрі системи клімат-контролю та системи автоматизованого моніторингу ефективності використання електроенергії, спостерігалось суттєве збільшення показників середньогодинного навантаження процесора та завантаженості оперативної пам'яті мікроконтролера, що зображено на Рисунку 3.19.

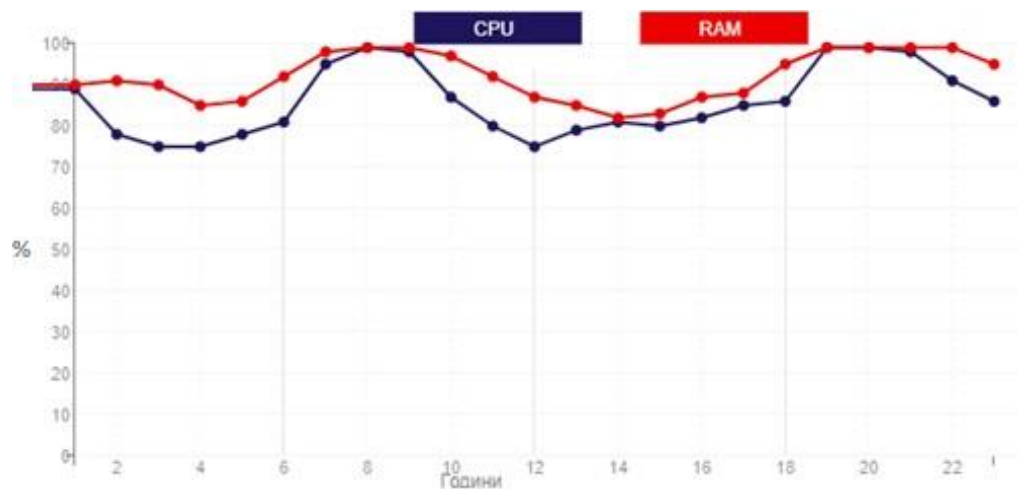


Рис. 3.19. Графіки середньогодинного навантаження мікроконтроллера під час процесу навчання моделей штучних нейронних мереж

Після запровадження рішення розподіленої системи з перенесенням функцій тренування моделей штучної нейронної мережі та зберігання історичних даних на стороні віддалених серверів сервісу хмарних обчислень, спостерігалось суттєве зменшення показників середньогодинного навантаження на процесор та завантаженості оперативної пам'яті мікроконтроллера зі збереженням повного набору функцій систем клімат-контролю та автоматизованого моніторингу ефективності використання електроенергії, що зображено на Рисунку 3.20.

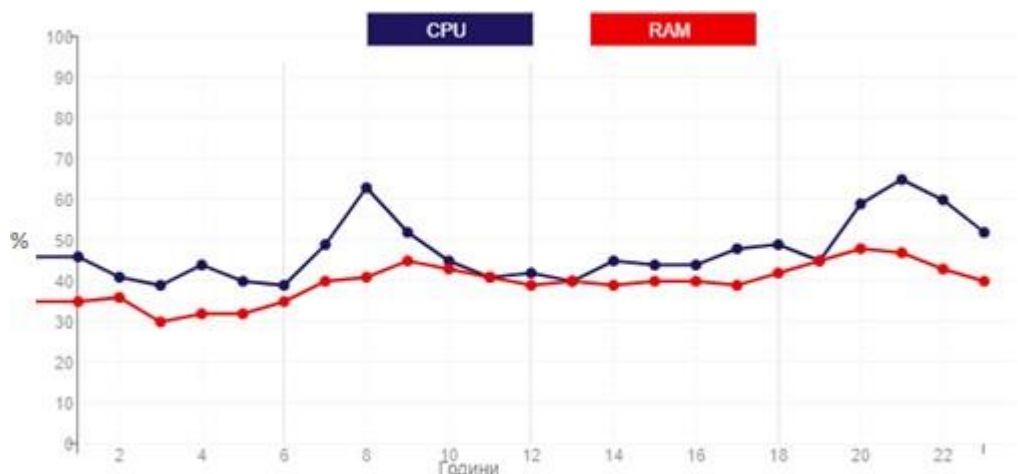


Рис. 3.20. Графіки середньогодинного навантаження мікроконтроллера під час процесу навчання моделей штучних нейронних мереж на стороні віддаленого сервера

Даний підхід дає змогу використовувати дешеве апаратне забезпечення на стороні клієнтської частини та використовувати віддалені сервери для високонавантажених обчислень, що сприяє зниженню вартості встановлення, роботи та підтримки розробленої системи «розумного» будинку.

При початковій реалізації системи був використаний метод емуляції поведінки користувачів системи та її вплив на роботу підсистеми керування освітлювальними приладами. Під час руху людини у приміщенні, датчик руху надсилає результат клієнтському контроллеру. На основі внутрішньої логіки, контроллер надсилає команду для увімкнення освітлювального приладу розташованому у приміщенні, а також надсилає оновлені параметри у приміщення (останній час визначення руху та режим роботи освітлення) усім іншим контроллерам, що під'єднані до системи для можливості відновлення попередніх параметрів у разі збою роботи контроллера при тимчасовому відключенні живлення у разі перебоїв роботи електромережі.

Під час розширення емуляції сфер використання розробленої системи та додавання нових приміщень у керування системою, під час практичного використання цей підхід виявився складномасштабованим та з явною тенденцією на зниження швидкодії роботи системи при збільшенні кількості нових датчиків та побутових приладів під'єднаних до системи. Можливості масштабування та подальшого розвитку системи при використаному на першому етапі розробки підході взаємодії компонентів (датчикі, прилади) системи обмежуються запутаністю взаємозв'язків між компонентами для зміни станів системи та повідомлення усіх решти компонентів про оновлення стану. При безпосередній взаємодії датчиків руху, датчиків освітлення та освітлювальних приладів, діаграма взаємозв'язків між усіма датчиками та приладами у розробленій системі має наступний вигляд (Рисунок 3.21):

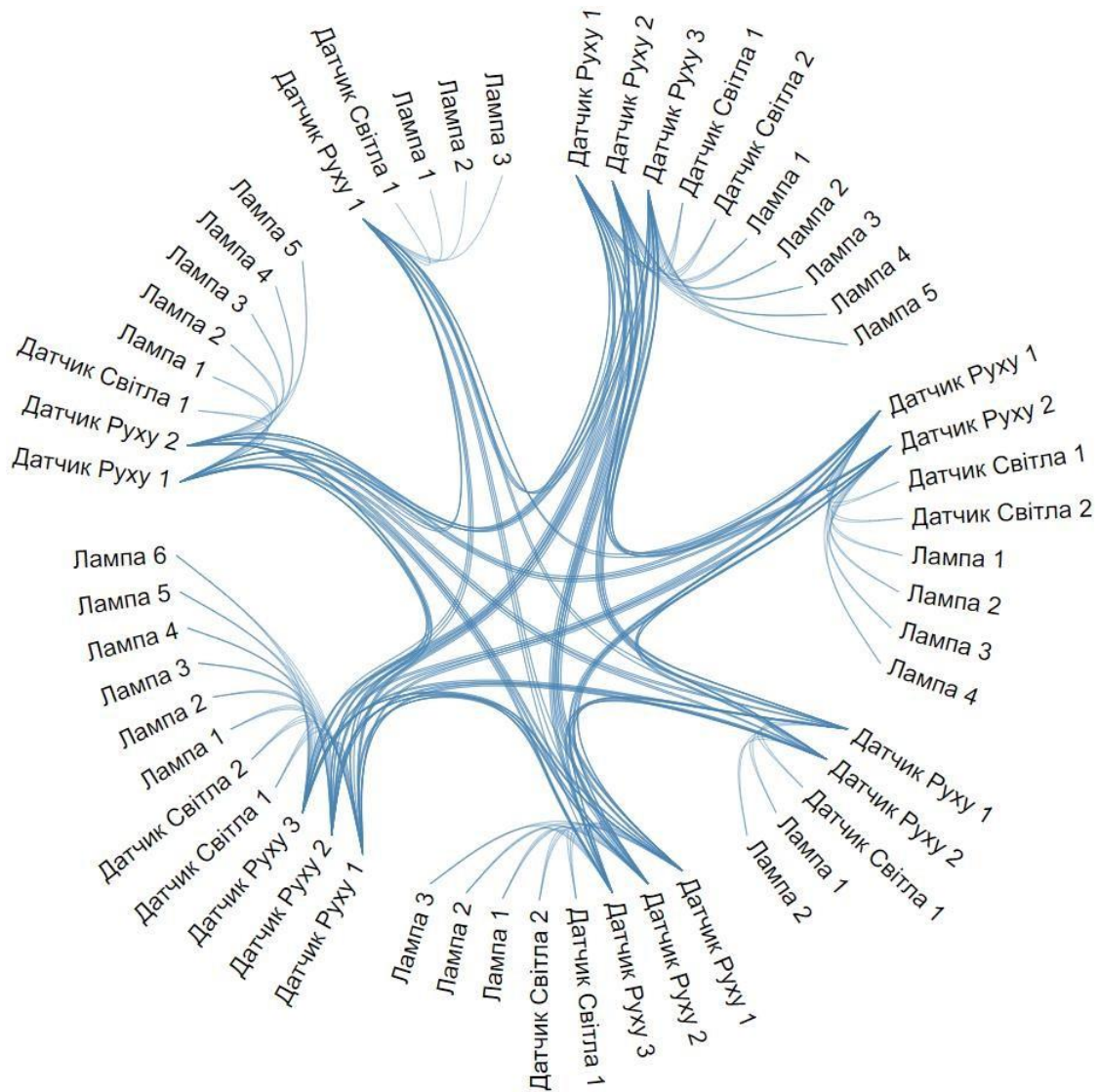


Рис. 3.21. Діаграма зв'язків між давачами та приладами

Для вирішення проблеми складності логіки комунікації між компонентами системи, був використаний архітектурний шаблон Redux, при запровадженні якого давачі та прилади не взаємодіють безпосередньо між собою. Всі давачі надсилають події зміни своїх значень редюсеру, який у свою чергу змінює стан системи у сховищі даних відповідно до розробленої внутрішньої логіки реагування на конкретну подію. У свою чергу прилади підписані на «прослуховування» змін у сховищі даних змінюють власні налаштування роботи при виникненні змін параметрів стану системи. Взаємозв'язки між усіма давачами та приладами у розробленій системі з використанням архітектурного шаблону Redux мають наступний вигляд (Рисунок 3.22):

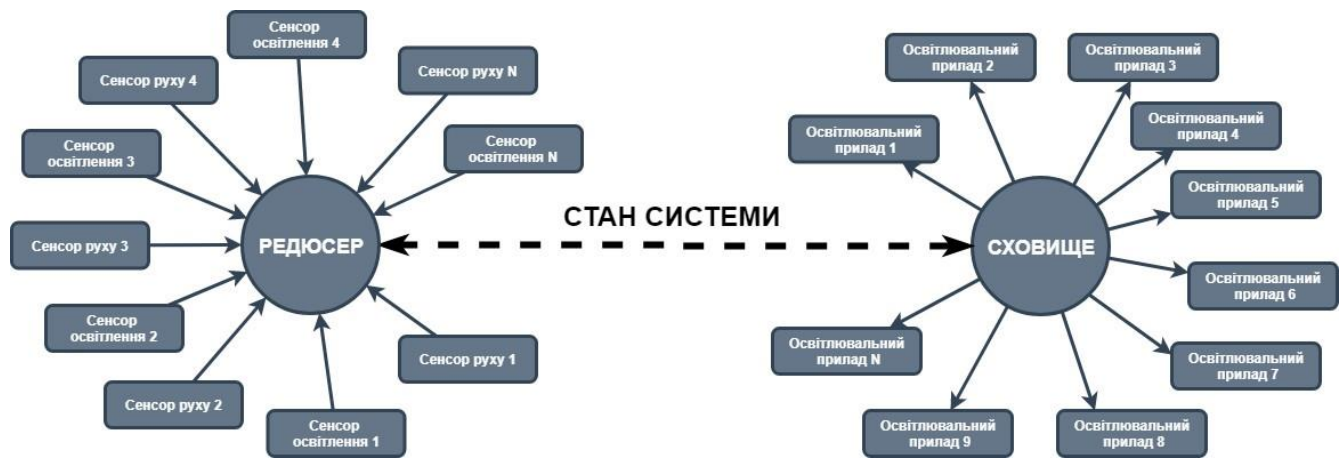


Рис. 3.22. Діаграма зв'язків при використанні архітектурного шаблону Redux

Аналіз швидкодії роботи розглянутої системи «розумного» будинку відбувався на основі випадково вибраної множини змін станів системи зі збереженими часовими мітками на кожному етапі отримання та надсилання команд між компонентами системи. Перша вибірка містить множину з 30 випадково відібраних записів змін станів при використанні підходу безпосередньої взаємодії між компонентами системи. Друга вибірка містить множину з 30 випадково відібраних записів змін станів при запровадженні архітектурного шаблону Redux.

Аналіз отриманих результатів роботи та порівняння показників відображає переваги використання архітектурного шаблону Redux у сфері систем «розумного» будинку. Такими перевагами є зменшення кількості запитів між різними компонентами системи, що збільшує швидкість роботи системи та підвищує загальну надійність системи. Також за рахунок зменшення кількості взаємозв'язків між компонентами системи досягається пришвидшення зміни стану системи. Запровадження архітектурного шаблону Redux дало змогу зменшити кількість запитів між компонентами системи з 120 запитів на початковому етапі розробки до 60, що складає 50% зменшення від початкового значення отриманого до модернізації системи. Швидкість оновлення загального стану системи зросла на 0,396 секунди, що складає 46% пришвидшення роботи системи у порівнянні з попередніми вимірами швидкості роботи системи до її модернізації.

Порівняння кількостей запитів між компонентами системи, що відбуваються у проєктованій системі при прямій взаємодії компонентів системи між собою та при використанні архітектурного шаблону Redux зображене на Рисунку 3.23.

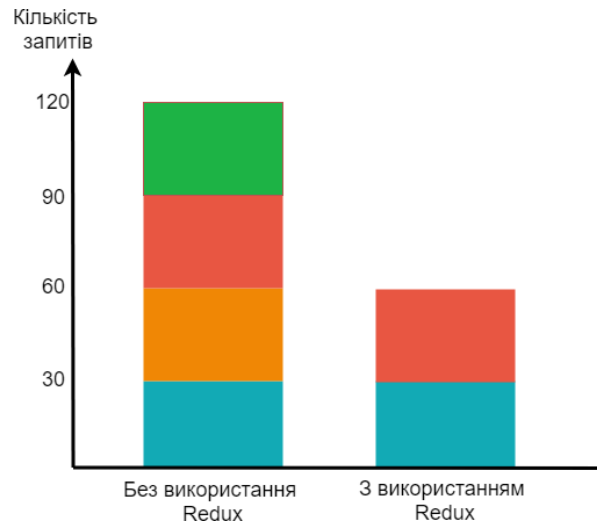


Рис. 3.23. Результати порівняння кількостей запитів між компонентами проєктованої системи

Порівняння швидкості оновлення загального стану системи при прямій взаємодії компонентів системи між собою та при використанні архітектурного шаблону Redux зображене на Рисунку 3.24.

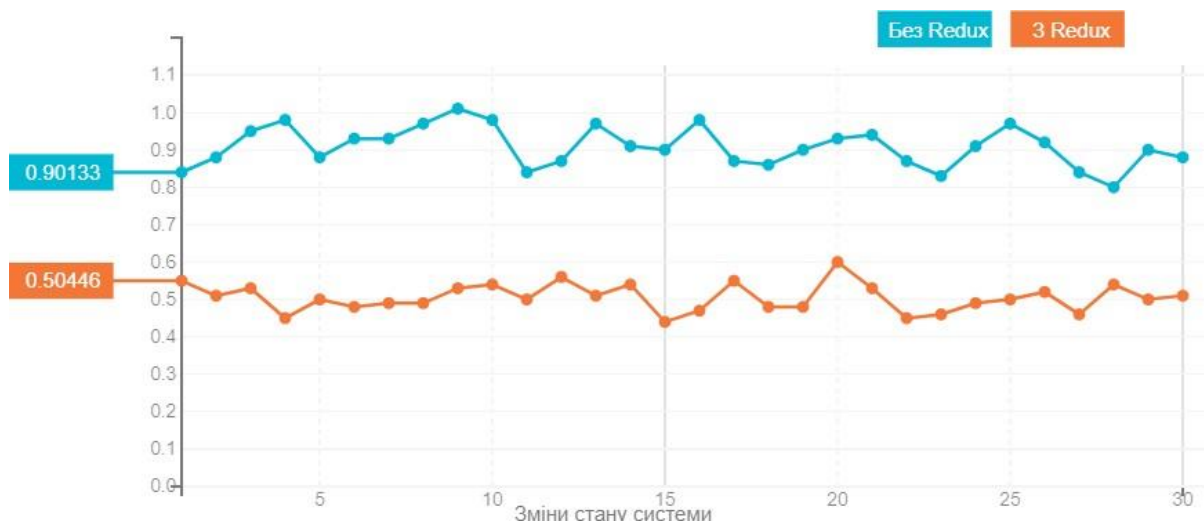


Рис. 3.24. Порівняння швидкості оновлення загального стану системи

Отримані результати дають змогу стверджувати, що запровадження архітектурного шаблону Redux зменшує кількість взаємозв'язків між компонентами системи, що дозволяє збільшити швидкість оновлення стану системи та роботу системи.

Під час роботи над пошуком оптимальної структури штучної нейронної мережі, що керує спрацюванням переходів мережі Петрі був отриманий графік зменшення значення похибки вихідних даних під час навчання нейронної мережі, що зображений на Рисунку 3.25.

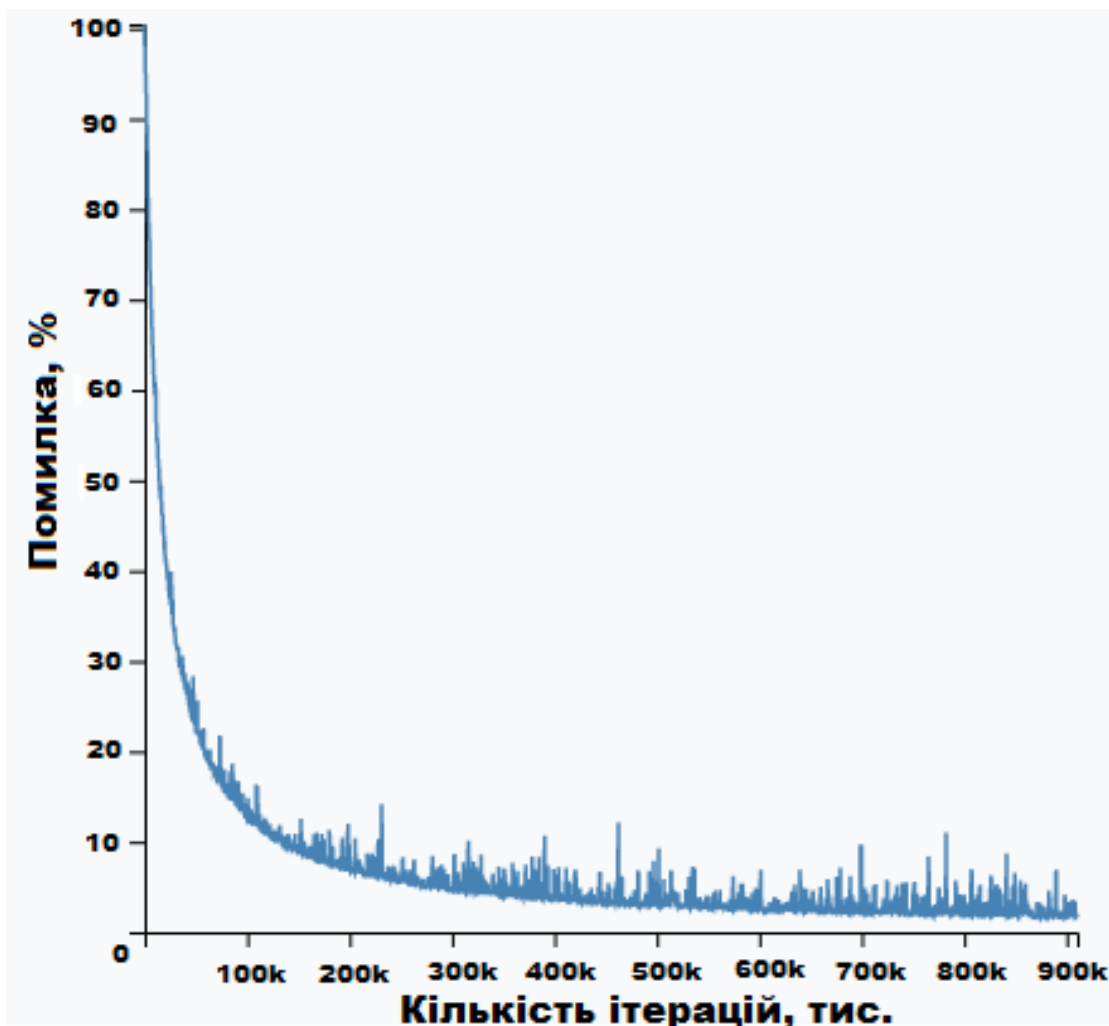


Рис. 3.25. Значення похибок вихідних даних під час навчання нейронної мережі

На представленому графіку слідуює, що додавання окремих нейронів та прихованих шарів штучної нейронної мережі системи впливає на регулярне збільшення значення помилки проміжних структур штучної нейронної мережі, що не робить зменшення

значення похибки роботи системи лінійним. Але, водночас спостерігається тенденція загального зменшення середнього значення похибки роботи системи під час додавання нових нейронів та прихованих шарів штучної нейронної мережі.

Після визначення структури штучної нейронної мережі, що дала найменше значення похибки у процесі навчання, вибрана нейронна мережа була використана для тестування на окремій контрольній тестовій вибірці з 10 записів, які не використовувались у процесі навчання та пошуку оптимальної структури. Такий підхід до тестування дає змогу перевірити середнє значення похибки роботи системи, включно з тестуванням можливих випадків завчення нейронною мережею даних з тестової вибірки. Похибка роботи мережі визначається середньоарифметичним значенням всіх значень помилок для кожного вихідного параметру нейронної мережі виражених відсотками різниці отриманого та очікуваного значення нових налаштувань приладів та системи вцілому відповідно до наданих параметрів на вході ШНМ. Візуальне зображення отриманої похибки роботи системи при зміні налаштувань ШНМ на пряму зображений на Рисунку 3.26.



Рис. 3.26. Значення похибок роботи системи при зміні налаштувань ШНМ на пряму

З отриманих результатів видно, що похибка роботи системи у межах 10 тестових спроб розташовується у діапазоні від 11 до 18 відсотків.

Відповідно для збільшення надійності роботи системи на основі рішень отриманих під час роботи алгоритму штучної нейронної мережі, додатково було запроваджено використання ієрархічних мереж Петрі, що представляють всі можливі налаштування приладів та системи, як закритої систему станів, зміни яких керуються ШНМ. Обмеживши прийняття автоматизованих рішень системою у рамках множини чітко визначених станів мережі Петрі було досягнуто підвищення точності змін налаштувань в порівнянні з підходом, що дозволяє штучній нейронній мережі напряду керувати налаштуваннями приладів. Візуальне зображення отриманих похибок роботи системи з використанням ієрархічних мереж Петрі зображений на Рисунку 3.27.

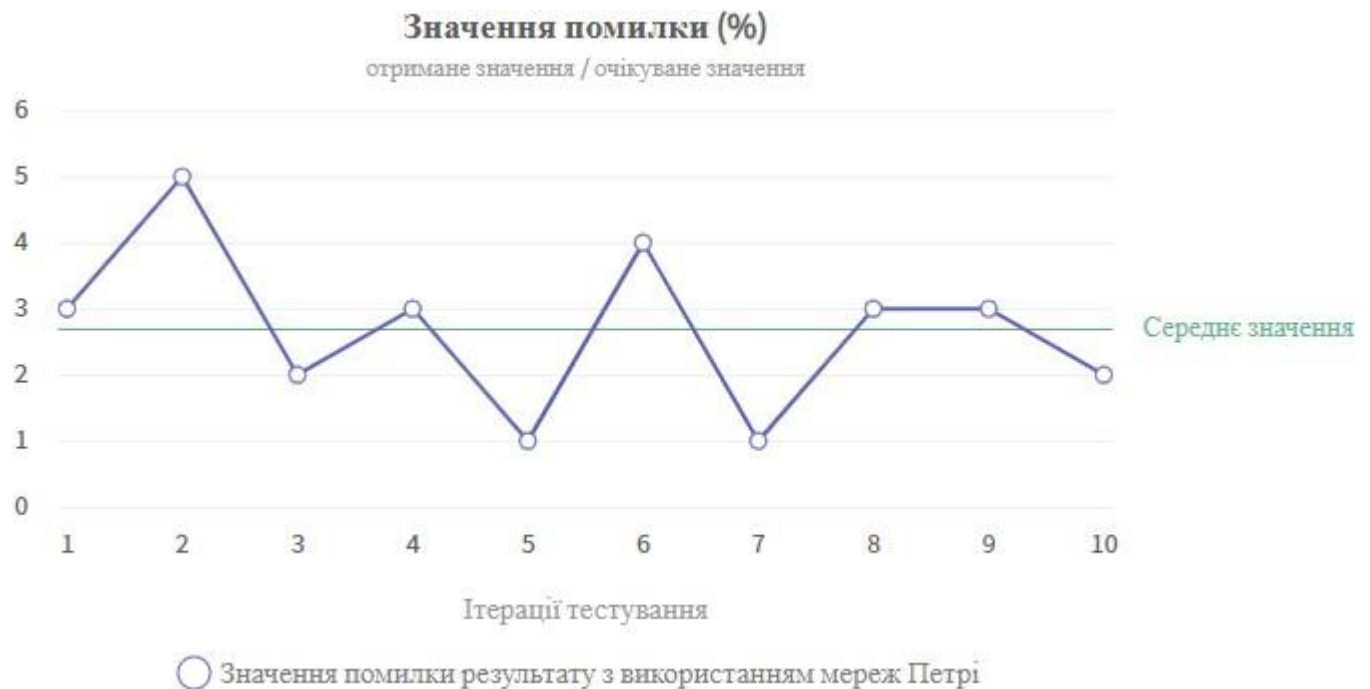


Рис. 3.27. Значення похибок роботи системи з використанням ієрархічних мереж Петрі

Таким чином після внесення змін у реалізацію системи застосувавши ієрархічні мережі Петрі, значення помилки результатів прийняття рішень системою знизилась з 16.4% до 2.7%.

Висновки до розділу 3

Результатами реалізації системи «розумного» будинку з використанням хмарних обчислень є наступні пункти:

1. Розроблено модулі та архітектурне рішення інформаційної системи, описано процес структурування програмних компонент системи, розроблено бази даних для збереження інформації у системі.
2. Розроблено процес розгортання ПЗ серверної частини системи за допомогою сервісів провайдера хмарних обчислень Амазон.
3. Доведено ефективність роботи процесу автоматизованого прийняття рішень та швидкодію роботи системи вцілому у порівнянні з класичними методами розробки ПЗ, а також показані результати розрахунків похибки вихідних результатів роботи системи у порівнянні із значеннями у контрольній вибірці.
4. Розроблено структуру програмного засобу інформаційної технології, яка ґрунтується на модульному принципі та включає такі складові, як модулі збору параметрів сенсорів, модуль управління приладами, модуль головного контролера, модуль автоматизованого прийняття рішень, модуль комунікації з віддаленим сервером, модуль управління базою даних.
5. Розроблено програмне забезпечення системи «розумного» будинку, яке використовує мову програмування JavaScript та технологію NodeJS, програмну платформу TensorFlow, сервіси AWS, що дає змогу створити розподілену систему з центральним сервером який виконує високонавантажені обчислення, що пов'язані з прийняттям рішень системою використовуючи штучні нейронні мережі, клієнтську частину програмного забезпечення, а також логіку автоматизованого балансування обчислювального навантаження.
6. Розроблено інформаційне забезпечення, яке включає структуру об'єктів даних якими оперує система і структуру бази даних стану системи та дає змогу стандартизувати формати передачі даних між компонентами системи та уніфікувати тип їх зберігання.

7. Наведено результати дослідження навантаження на апаратне забезпечення мікроконтролерів клієнтської частини до та після перенесення функціоналу навчання моделей штучних нейронних мереж на сторону віддаленого сервера, результати дослідження кількостей запитів між компонентами системи до та після запровадження архітектурного шаблону Redux та результати похибки роботи автоматизованого прийняття рішень системою з використанням синтезу роботи алгоритму ШНМ та мереж Петрі.

ВИСНОВКИ

У роботі, на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, розв'язано актуальне наукове завдання підвищення ефективності розроблення систем «розумного» будинку на основі розроблених моделей, методів та засобів інформаційної технології з використанням хмарних обчислень та алгоритмів штучних нейронних мереж.

Результатами проведеного дослідження та запровадження розробленої системи «розумного» будинку з використанням хмарних обчислень є:

- Проведено аналіз існуючих методів, моделей та засобів управління приладами «розумного» будинку з використанням хмарних обчислень і алгоритму штучних нейронних мереж на основі якого сформовано завдання дисертаційного дослідження.
- Розроблено метод опрацювання великих обсягів даних для систем «розумного» будинку на основі архітектурного шаблону Redux, що дозволило підвищити швидкість оновлення загального стану системи на 46% у порівнянні з попередніми вимірами швидкості роботи системи до її модернізації.
- Розроблено та запроваджено модель поширення програмного забезпечення для систем «розумного» будинку, яка ґрунтується на використанні моделі SaaS, що дозволило підвищити показники надійності, масштабованості, зручності користування та фінансової вигоди запровадження систем «розумного» будинку.
- Розроблено метод синтезу структур ШНМ для управління системою «розумного» будинку, який базується на виборі оптимальної кількості прихованих шарів ШНМ та кількості нейронів на кожному внутрішньому шарі.
- Побудовано модель опрацювання даних в системі «розумного» будинку на основі ієрархічних та кольорових мереж Петрі, що дозволило знизити значення помилки результатів прийняття рішень системою з 16.4% до 2.7%.

- Розроблено програмні засоби інформаційної технології управління системою «розумного» будинку з використанням хмарних обчислень та алгоритмів штучної нейронної мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Kurzweil R. (2004) The Law of Accelerating Returns. In: Teuscher C. (eds) Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-05642-4_16
2. Haughian B. (2018) The Current and Future Status of the IoT. In: Design, Launch, and Scale IoT Services. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3712-0_10
3. Gill, Sukhpal Singh & Tuli, Shreshth & Xu, Minxian & Singh, Inderpreet & Singh, Karan Vijay & Lindsay, Dominic & Tuli, Shikhar & Smirnova, Daria & Singh, Manmeet & Jain, Udit & Pervaiz, Haris & Sehgal, Bhanu & Kaila, Sukhwinder & Misra, Sanjay & Aslanpour, Mohammad Sadegh & Mehta, Harshit & Stankovski, Vlado & Garraghan, Peter. (2019). Transformative Effects of IoT, Blockchain and Artificial Intelligence on Cloud Computing: Evolution, Vision, Trends and Open Challenges. Internet of Things. 8. 100118. 10.1016/j.iot.2019.100118.
4. Hoy Matthew. (2018). Alexa, Siri, Cortana, and More: An Introduction to Voice Assistants. Medical Reference Services Quarterly. 37. 81-88. 10.1080/02763869.2018.1404391.
5. Smart Homes and Home Automation [Електронний ресурс] // Berg Insight AB. – 2019. URL: <http://www.berginsight.com/ReportPDF/ProductSheet/bi-sh7-ps.pdf>.
6. David Reinsel Global Datasphere Expansion is Never-ending / David Reinsel, John Gantz, John Rydning // The Digitization of the World – From Edge to Core – November 2018 Doc# US44413318 <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idcseagate-dataage-whitepaper.pdf>.
7. Alexandra Deschamps-Sonsino. 2018. Smarter homes: how technology will change your home life. Apress.
8. Risteska Stojkoska B.L.; Trivodaliev K.V. A Review of internet of things for smart home: Challenges and solutions. J. Clean. Prod. 2017, 140, 1454–1464

9. Firth, S.K.; Fouchal, F.; Kane, T.; Dimitriou, V.; Hassan, T.M. Decision support systems for domestic retrofit provision using smart home data streams. In Proceedings of the CIB W78 2013 30th International Conference Apply IT AEC Ind. Move Toward Smart Buildings Infrastructures Cities, Beijing, China, 9–12 October 2013; p. 10.
10. Kazarian A., Teslyuk V., Tsmots I., Mashevskaya M. “Units and structure of automated “smart” house system using machine learning algorithms” in Proceeding of the 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM’2017, 21-25 February 2017, Polyana, Lviv, Ukraine. 2017. P. 364-366.
11. Russell, S.; Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd ed.; Prentice Hall Press: Upper Saddle River, NJ, USA, 2009.
12. Zaidan, A.A., Zaidan, B.B. A review on intelligent process for smart home applications based on IoT: coherent taxonomy, motivation, open challenges, and recommendations. *Artif Intell Rev* 53, 141-165 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9648-9>
13. Rho, S.; Min, G.; Chen, W. Advanced issues in artificial intelligence and pattern recognition for intelligent surveillance system in smart home environment. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2012, 25, 1299–1300.
14. Dermody, G.; Fritz, R. A Conceptual framework for clinicians working with artificial intelligence and health-assistive smart homes. *Nurs. Inq.* 2018, 26, 1–8
15. Kumar, S.; Abdul Qadeer, M. Application of AI in home automation. *Int. J. Eng. Technol.* 2012, 4, 803–807
16. Huh, J.; Seo, K. Lecture notes in electrical engineering. In *Artificial Intelligence Smart Home Cabinet Using Deep Learning for Smart Home*; Park, J.J., Chen, S.C., Raymond Choo, K.K., Eds.; Springer Singapore: Singapore, 2019; Volume 448, pp. 825–834
17. Guo, Xiao & Shen, Zhenjiang & Zhang, Yajing & Wu, Teng. (2019). Review on the Application of Artificial Intelligence in Smart Homes. *Smart Cities*. 2. 402-420. [10.3390/smarts1002025](https://doi.org/10.3390/smarts1002025).

18. Qela, B.; Mouftah, H.T. ; Observe, learn, and adapt (OLA)—An algorithm for energy management in smart homes using wireless sensors and artificial intelligence. *IEEE Trans. Smart Grid* 2012, 3, 2262–2272.
19. Orpwood, R. CASAS: A smart home in a box. In *Pathy's Principles and Practice of Geriatric Medicine*; John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester, UK, 2012; Volume 2, pp. 1513–1523.
20. Kopytko, V.; Shevchuk, L.; Yankovska, L.; Semchuk, Z.; Strilchuk, R. Smart home and artificial intelligence as environment for the implementation of new technologies. *Path Sci.* 2018, 4, 2007-2012.
21. Tang, S.X. Study on the Application of Artificial Intelligent Technology in Intelligent Building; Management, Information and Educational Engineering; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2015; pp. 933-936.
22. Crisnapati, P.N.; Wardana, I.N.K.; Aryanto, I.K.A.A. Rudas: Energy and sensor devices management system in home automation. In *Proceedings of the 2016 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, Bali, Indonesia, 9-11 May 2016; pp. 184-187
23. Wanglei; Shao, P. Intelligent control in smart home based on adaptive neuro fuzzy inference system. In *Proceedings of the 2015 Chinese Automation Congress (CAC)*, Wuhan, China, 27–29 November 2015; pp. 1154-1158.
24. Park, M.H.; Jang, Y.H.; Ju, Y.W.; Park, S.C. Design of tensorflow-based proactive smart home managers. *Lect. Notes Electr. Eng.* 2018, 474, 83–89.
25. Jivani, F.D.; Malvankar, M.; Shankarmani, R. A Voice controlled smart home solution with a centralized management framework implemented using AI and NLP. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT)*, Coimbatore, India, 1-3 March 2018; pp. 1-5.
26. Alamaniotis, M.; Ktistakis, I.P. Fuzzy leaky bucket with application to coordinating smart appliances in smart homes. In *Proceedings of the 2018 IEEE 30th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, Volos, Greece, 5-7 November 2018, pp. 878–883.

27. Jithish, J.; Sankaran, S. A Hybrid adaptive rule based system for smart home energy prediction. *CEUR Workshop Proc.* 2017, 1819.
28. Vastardis, N.; Kampouridis, M.; Yang, K. A user behaviour-driven smart-home gateway for energy management. *J. Ambient Intell. Smart Environ.* 2016, 8, 583-602.
29. Lima, W.S.; Souto, E.; Rocha, T.; Pazzi, R.W.; Pramudianto, F. User activity recognition for energy saving in smart home environment. In *Proceedings of the 2015 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, Larnaca, Cyprus, 6-9 July 2015; pp. 751-757.
30. Raeiszadeh, M.; Tahayori, H. A Novel method for detecting and predicting resident's behavior in smart home. In *Proceedings of the 2018 6th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems (CFIS)* Kerman, Iran, 28 February–2 March 2018; pp. 71-74.
31. Su, C.F.; Fu, L.C.; Chien, Y.W.; Li, T.Y. Activity recognition system for dementia in smart homes based on wearable sensor data. In *Proceedings of the 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)* Bangalore, India, 18-21 November 2018; pp. 463-469.
32. Liouane, Z.; Lemlouma, T.; Roose, P.; Weis, F.; Messaoud, H. A Genetic Neural Network Approach for Unusual Behavior Prediction in Smart Home; Abraham, A., Franke, K., Köppen, M., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany 2017; Volume 1, pp. 738-748.
33. Wang, D.; Hoey, J. Hierarchical Task Recognition and Planning in Smart Homes with Partial Observability; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2017; Volume 7656, pp. 439-452.
34. Ospan, B.; Khan, N.; Augusto, J.; Quinde, M.; Nurgaliyev, K. Context aware virtual assistant with case-based conflict resolution in multi-user smart home environment. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet)*, Astana, Kazakhstan, 15–17 August 2018; pp. 36-44.
35. Rani, P.J.; Bakthakumar, J.; Kumar, B.P.; Kumar, U.P.; Kumar, S. Voice controlled home automation system using natural language processing (NLP) and internet of things

- (IoT). In Proceedings of the 2017 Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM), Chennai, India, 23–24 March 2017; pp. 368-373.
36. Sehili, M.A.; Lecouteux, B.; Vacher, M.; Portet, F.; Istrate, D.; Dorizzi, B.; Boudy, J. Sound Environment Analysis in Smart Home; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2012; pp. 208-223.
37. Su, H.; Li, Y.; Liu, L. Gesture Recognition Based on Accelerometer and Gyroscope and Its Application in Medical and Smart Homes; Springer International Publishing: New York, NY, USA, 2018; Volume 10367, pp. 90-100.
38. Abid, M.; Petriu, E.; Amjadian, E. Dynamic sign language recognition for smart home interactive application using stochastic linear formal grammar. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2015, 64, 596-605.
39. Surantha, N.; Wicaksono, W.R. Design of smart home security system using object recognition and PIR sensor. *Procedia Comput. Sci.* 2018, 135, 465-472.
40. Artem, K.; Vasyly, T. Structure and model of the smart house security system using machine learning methods. In Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) IEEE, Lviv, Ukraine, 4–7 July 2017; pp. 105-108
41. Durand, A.; Ngoko, Y.; Cerin, C. Distributed and in-situ machine learning for smart-homes and buildings: Application to alarm sounds detection. In Proceedings of the 2017 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), Lake Buena Vista, FL, USA, 29 May–2 June 2017; pp. 429–432
42. Wang, M.; Wang, H. Intelligent agent supported flexible workflow monitoring system. *Adv. Inf. Syst. Eng.* 2002, 2348, 787-791.
43. Wang, H. Intelligent agent-assisted decision support systems: Integration of knowledge discovery, knowledge analysis, and group decision support. *Expert Syst. Appl.* 1997, 12, 323-335.

44. Bellifemine, F.L.; Caire, G.; Greenwood, D. *Developing Multi-Agent Systems With JADE*; John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2007; Volume 7.
45. Sun, Q.; Yu, W.; Kochurov, N.; Hao, Q.; Hu, F. A multi-agent-based intelligent sensor and actuator network design for smart house and home automation. *J. Sens. Actuator Netw.* 2013, 2, 557-588.
46. Olfati-Saber, R.; Fax, A.; Murray, R.M. Consensus and cooperation in networked multi-agent systems. *Proc. IEEE* 2007, 95, 215–233.
47. Alam, M.; Reaz, M.; Ali, M.; Samad, S.; Hashim, F.; Hamzah, M. Human activity classification for smart home: A multiagent approach. In *Proceedings of the 2010 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA)*, Penang, Malaysia, 3–5 October 2010; pp. 511-514.
48. Rashidi, P.; Cook, D.J. Keeping the resident in the loop: Adapting the smart home to the user. *Syst. Man Cybern. Part A* 2009, 39, 949-959.
49. Medjahed, H.; Istrate, D.; Boudy, J.; Dorizzi, B. Human activities of daily living recognition using fuzzy logic for elderly home monitoring. In *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Jeju Island, Korea, 20-24 August 2009; pp. 2001-2006.
50. Zhang, L.; Leung, H.; Chan, K.C. Information fusion based smart home control system and its application. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2008, 54, 1157-1165.
51. Vainio, A.M.; Valtonen, M.; Vanhala, J. Proactive fuzzy control and adaptation methods for smart homes. *IEEE Intell. Syst.* 2008, 23, 42-49.
52. Medjahed, H.; Istrate, D.; Boudy, J.; Baldinger, J.L.; Dorizzi, B. A pervasive multi-sensor data fusion for smart home healthcare monitoring. In *Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011)*, Taipei, Taiwan, 27–30 June 2011; pp. 1466-1473.
53. Siddique, N.; Adeli, H. *Computational Intelligence: Synergies of Fuzzy Logic, Neural Networks and Evolutionary Computing*; John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2013.

54. Brdiczka, O.; Langet, M.; Maisonnasse, J.; Crowley, J.L. Detecting human behavior models from multimodal observation in a smart home. *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 2009, 6, 588–597.
55. Hoey, J.; Poupart, P.; von Bertoldi, A.; Craig, T.; Boutilier, C.; Mihailidis, A. Automated handwashing assistance for persons with dementia using video and a partially observable markov decision process. *Comput. Vis. Image Underst.* 2010, 114, 503–519.
56. Marie Chan, Daniel Estève, Christophe Escriba, Eric Campo, A review of smart homes—Present state and future challenges, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Volume 91, Issue 1, 2008, Pages 55-81, ISSN 0169-2607, <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2008.02.001>.
57. Nazmiye Balta-Ozkan, Oscar Amerighi & Benjamin Boteler (2014) A comparison of consumer perceptions towards smart homes in the UK, Germany and Italy: reflections for policy and future research, *Technology Analysis & Strategic Management*, 26:10, 1176-1195, DOI: 10.1080/09537325.2014.975788
58. Alam, Muhammad Raisul & Reaz, Mamun Bin Ibne & Ali, M.. (2011). Statistical Modeling of the Resident's Activity Interval in Smart Homes. *Journal of Applied Sciences*. 11. 10.3923/jas.2011.3058.3061.
59. Arunvivek, J. & Srinath, S. & M S, Balamurugan. (2015). Framework Development in Home Automation to Provide Control and Security for Home Automated Devices. *Indian Journal of Science and Technology*. 8. 10.17485/ijst/2015/v8i19/76863.
60. Dawid, H., Decker, R., Hermann, T. et al. Management science in the era of smart consumer products: challenges and research perspectives. *Cent Eur J Oper Res* 25, 203–230 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10100-016-0436-9>
61. Jihoon Hong, Jungwoo Shin, Daeho Lee, Strategic management of next-generation connected life: Focusing on smart key and car–home connectivity, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 103, 2016, Pages 11-20, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.10.006>

62. Khedekar, D.C., Truco, A.C., Oteyza, D.A. and Huertas, G.F. (2017), Home Automation—A Fast - Expanding Market. *Thunderbird International Business Review*, 59: 79-91. <https://doi.org/10.1002/tie.21829>
63. Nazmiye Balta-Ozkan, Oscar Amerighi & Benjamin Boteler (2014) A comparison of consumer perceptions towards smart homes in the UK, Germany and Italy: reflections for policy and future research, *Technology Analysis & Strategic Management*, 26:10, 1176-1195, DOI: 10.1080/09537325.2014.975788
64. Marie Chan, Eric Campo, Daniel Estève, Jean-Yves Fourniols, Smart homes — Current features and future perspectives, *Maturitas*, Volume 64, Issue 2, 2009, Pages 90-97, ISSN 0378-5122, <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2009.07.014>
65. Ranasinghe, Suneth & Al Machot, Fadi & Mayr, Heinrich. (2016). A Review on Applications of Activity Recognition Systems with Regard to Performance and Evaluation. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 12. 10.1177/1550147716665520.
66. Amiribesheli, M., Benmansour, A. & Bouchachia, A. A review of smart homes in healthcare. *J Ambient Intell Human Comput* 6, 495–517 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12652-015-0270-2>
67. Kirsten K. B. Peetoom, Monique A. S. Lexis, Manuela Joore, Carmen D. Dirksen & Luc P. De Witte (2015) Literature review on monitoring technologies and their outcomes in independently living elderly people, *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 10:4, 271-294, DOI: 10.3109/17483107.2014.961179
68. Liyanage C. De Silva, Chamin Morikawa, Iskandar M. Petra, State of the art of smart homes, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 25, Issue 7, 2012, Pages 1313-1321, ISSN 0952-1976, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.05.002>
69. Sayed Saeed Hosseini, Kodjo Agbossou, Sousso Kelouwani, Alben Cardenas, Non-intrusive load monitoring through home energy management systems: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 79, 2017, Pages 1266-1274, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.096>

70. M. R. Alam, M. B. I. Reaz and M. A. M. Ali, "A Review of Smart Homes—Past, Present, and Future," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 42, no. 6, pp. 1190-1203, Nov. 2012, doi: 10.1109/TSMCC.2012.2189204.
71. Marie Chan, Eric Campo, Daniel Estève, Jean-Yves Fourniols, Smart homes — Current features and future perspectives, *Maturitas*, Volume 64, Issue 2, 2009, Pages 90-97, ISSN 0378-5122, <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2009.07.014>
72. Ranasinghe, Suneth & Al Machot, Fadi & Mayr, Heinrich. (2016). A Review on Applications of Activity Recognition Systems with Regard to Performance and Evaluation. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 12. 10.1177/1550147716665520.
73. Sayed Saeed Hosseini, Kodjo Agbossou, Sousso Kelouwani, Alben Cardenas, Non-intrusive load monitoring through home energy management systems: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 79, 2017, Pages 1266-1274, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.096>
74. Ameena Saad al-sumaiti, Mohammed Hassan Ahmed & Magdy M. A. Salama (2014) Smart Home Activities: A Literature Review, *Electric Power Components and Systems*, 42:3-4, 294-305, DOI: 10.1080/15325008.2013.832439
75. D. Han and J. Lim, "Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, no. 3, pp. 1417-1425, Aug. 2010, doi: 10.1109/TCE.2010.5606278.
76. J. Han, C. Choi, W. Park, I. Lee and S. Kim, "Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 60, no. 2, pp. 198-202, May 2014, doi: 10.1109/TCE.2014.6851994.
77. Nazmiye Balta-Ozkan, Oscar Amerighi & Benjamin Boteler (2014) A comparison of consumer perceptions towards smart homes in the UK, Germany and Italy: reflections

- for policy and future research, *Technology Analysis & Strategic Management*, 26:10, 1176-1195, DOI: 10.1080/09537325.2014.975788
78. Alexander Peine, Understanding the dynamics of technological configurations: A conceptual framework and the case of Smart Homes, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 76, Issue 3, 2009, Pages 396-409, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.04.002>
79. K. Xu, X. Wang, W. Wei, H. Song and B. Mao, "Toward software defined smart home," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 116-122, May 2016, doi: 10.1109/MCOM.2016.7470945.
80. Sebastiaan T.M. Peek, Eveline J.M. Wouters, Joost van Hoof, Katrien G. Luijkx, Hennie R. Boeije, Hubertus J.M. Vrijhoef, Factors influencing acceptance of technology for aging in place: A systematic review, *International Journal of Medical Informatics*, Volume 83, Issue 4, 2014, Pages 235-248, ISSN 1386-5056, <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2014.01.004>
81. Kotz, David & Avancha, Sasikanth & Baxi, Amit. (2009). A privacy framework for mobile health and home-care systems. 1-12. 10.1145/1655084.1655086.
82. Antônio Márcio Tavares Thomé, Luiz Felipe Scavarda & Annibal José Scavarda (2016) Conducting systematic literature review in operations management, *Production Planning & Control*, 27:5, 408-420, DOI: 10.1080/09537287.2015.1129464
83. Xiaojun Hu, Ronald Rousseau, Jin Chen, On the definition of forward and backward citation generations, *Journal of Informetrics*, Volume 5, Issue 1, 2011, Pages 27-36, ISSN 1751-1577, <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.07.004>
84. Lashkari, & Chen, & Musilek, Petr. (2019). Energy Management for Smart Homes—State of the Art. *Applied Sciences*. 9. 3459. 10.3390/app9173459.
85. Nazmiye Balta-Ozkan, Rosemary Davidson, Martha Bicket, Lorraine Whitmarsh, Social barriers to the adoption of smart homes, *Energy Policy*, Volume 63, 2013, Pages 363-374, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.043>

86. Habib Elkhorchani, Khaled Grayaa, Novel home energy management system using wireless communication technologies for carbon emission reduction within a smart grid, *Journal of Cleaner Production*, Volume 135, 2016, Pages 950-962, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.179>
87. Bin Zhou, Wentao Li, Ka Wing Chan, Yijia Cao, Yonghong Kuang, Xi Liu, Xiong Wang, Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 61, 2016, Pages 30-40, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.047>
88. Marc Beaudin, Hamidreza Zareipour, Home energy management systems: A review of modelling and complexity, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 45, 2015, Pages 318-335, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.046>
89. Alam, Muhammad Raisul & Reaz, Mamun Bin Ibne & Mohd Ali, Mohd. (2012). A Review of Smart Homes – Past, Present, and Future. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics -Part C: Applications and Reviews*. 42. 1190-1203. 10.1109/TSMCC.2012.2189204.
90. Hu, Y., Tilke, D., Adams, T. et al. Smart home in a box: usability study for a large scale self-installation of smart home technologies. *J Reliable Intell Environ* 2, 93–106 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40860-016-0021-y>
91. Alaa, Musaab & Zaidan, A. & Bahaa, Bilal & Talal, Mohammed & Mat Kiah, Miss Laiha. (2017). A Review of Smart Home Applications based on Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*. 97. 10.1016/j.jnca.2017.08.017.
92. Abbas, Ammar & Abdullah, Mahmood. (2019). Recent trends of smart home automation system. *Journal of Cellular Automata*. 12. 79-90.
93. Abhishek Bhati, Michael Hansen, Ching Man Chan, Energy conservation through smart homes in a smart city: A lesson for Singapore households, *Energy Policy*, Volume 104, 2017, Pages 230-239, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.032>

94. Czaja, S. J. (2016). Long-term care services and support systems for older adults: The role of technology. *American Psychologist*, 71(4), 294–301. <https://doi.org/10.1037/a0040258>
95. Blaine Reeder, Ellen Meyer, Amanda Lazar, Shomir Chaudhuri, Hilaire J. Thompson, George Demiris, Framing the evidence for health smart homes and home-based consumer health technologies as a public health intervention for independent aging: A systematic review, *International Journal of Medical Informatics*, Volume 82, Issue 7, 2013, Pages 565-579, ISSN 1386-5056, <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2013.03.007>
96. Caterina Cavicchi, Emidia Vagnoni, Does intellectual capital promote the shift of healthcare organizations towards sustainable development? Evidence from Italy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 153, 2017, Pages 275-286, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.175>
97. Grigorios L. Kyriakopoulos, Garyfallos Arabatzis, Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 56, 2016, Pages 1044-1067, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.046>
98. Bresnahan, Christine & Blum, Richard. (2020). Understanding Software Licensing. 10.1002/9781119657712.ch2.
99. Dong, Bo & Ying, Shi & Wang, Bingming & Cheng, Guoli & Geng, Jiangyi. (2021). Analysing the Impact of Scaling Out SaaS Software on Response Time. *Scientific Programming*. 2021. 1-11. 10.1155/2021/6629867.
100. Michel Ehrenhard, Bjorn Kijl, Lambert Nieuwenhuis, Market adoption barriers of multi-stakeholder technology: Smart homes for the aging population, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 89, 2014, Pages 306-315, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.08.002>
101. Yang, Heetae & Lee, Hwansoo & Zo, Hangjung. (2017). User acceptance of smart home services: An extension of the theory of planned behavior. *Industrial Management & Data Systems*. 117. 68-89. 10.1108/IMDS-01-2016-0017.

102. Andreas Jacobsson, Martin Boldt, Bengt Carlsson, A risk analysis of a smart home automation system, *Future Generation Computer Systems*, Volume 56, 2016, Pages 719-733, ISSN 0167-739X, <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.003>
103. Alsulami, M.H., Atkins, A.S. Factors Influencing Ageing Population for Adopting Ambient Assisted Living Technologies in the Kingdom of Saudi Arabia. *Ageing Int* 41, 227–239 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12126-016-9246-6>
104. Chung, Jane & Demiris, George & Thompson, Hilaire. (2016). Ethical Considerations Regarding the Use of Smart Home Technologies for Older Adults: An Integrative Review. *Annual Review of Nursing Research*. 34. 155-181. 10.1891/0739-6686.34.155.
105. Zied Mani & Inès Chouk (2017). Drivers of consumers' resistance to smart products, *Journal of Marketing Management*, 33:1-2, 76-97, DOI: 10.1080/0267257X.2016.1245212
106. Kazarian A., Tsmots I., Teslyuk V. "Intelligent house as a service and his practical usage for home energy efficiency", in *Proc. of the XII-th Intern. Conf. of Computer Science & Information Technologies 2017 (CSIT'2017)*. – Lviv, 2017. – P. 220 – 223.
107. Gowri, R & Shankar, Prakash & Duraisamy, S & Prakash, Gowri. (2020). Survey on Load Balancing in Cloud Computing. 19. 23.
108. Alkhatib, Ahmad & Alsabbagh, Abeer & Maraqa, Randa & AlZu'bi, Shadi. (2021). Load Balancing Techniques in Cloud Computing: Extensive Review. *Advances in Science Technology and Engineering Systems Journal*. 2. 860-870. 10.25046/aj060299.
109. J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
110. I.S. Jacobs and C.P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in *Magnetism*, vol. III, G.T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.

111. K. Artem, T. Vasyl and T. Ivan, "Development of Face Recognition Module for a "Smart Home" System Using a Remote Server," 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2018, pp. 25-28, doi: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526642.
112. Ali, Sawsan & Alauldeen, Rana & Ruaa, Ali & Khamees,. (2020). What is Client-Server System: Architecture, Issues and Challenge of Client -Server System (Review). 10.5281/zenodo.3673071.
113. Müller, Sune & Holm, Stefan & Søndergaard, Jens. (2015). Benefits of Cloud Computing: Literature Review in a Maturity Model Perspective. Communications of the Association for Information Systems. 37. 10.17705/1CAIS.03742.
114. Bakir A. (2018) Setting Up a Raspberry Pi and Using It As a HomeKit Bridge. In: Program the Internet of Things with Swift for iOS. Apress, Berkeley, CA, ct. 235-266.
115. Aleksandrovich, Panfilov. (2020). Energy Efficient System "Smart House". Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 12. 260-262. 10.5373/JARDCS/V12SP7/20202106.
116. Elhassan, Ammar & Abu-Soud, Saleh & Alghanim, Firas & Walid, A. Salameh. (2021). ILA4: Overcoming Missing Values in Machine Learning Datasets – An Inductive Learning Approach. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. 10.1016/j.jksuci.2021.02.011.
117. Abdulla, Abdulrahman & Abdulraheem, Ahmad & Salih, Azar & M.Sadeeq, Mohammed & Ahmed, Abdulraheem & Ferzor, Barwar & Salih, Omar & Mohammed, Ibrahim. (2020). Internet of Things and Smart Home Security. Technology Reports of Kansai University. 62.
118. Zhao, Kejie & Zhong, Jiezhuo & Ye, Jun. (2020). Smart Home Security Based on the Internet of Things. 10.1007/978-3-030-62746-1_57.
119. Gesvindr, David & Michalkova, Jana & Buhnova, Barbora. (2017). System for Collection and Processing of Smart Home Sensor Data. 247-250. 10.1109/ICSAW.2017.23.

120. Islam Naim N. ReactJS: An Open Source JavaScript Library for Front-end Development [Available by URL] / Naimul Islam Naim // Metropolia University of Applied Sciences. 2017. URL: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130495/FInal_Year_Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y .
121. Piispanen M. Modern architecture for large web applications (2017) [Electronic resource]. URL: <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/54129/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201705272524.pdf>.
122. Paul A., Nalwaya A. (2016) Flux: Solving Problems Differently. In: React Native for iOS Development. Apress, Berkeley, CA, сt.75-93.
123. Freeman A. (2019) Using a Redux Data Store. In: Pro React 16. Apress, Berkeley, CA, сt.531-559.
124. Saransig A., Tapia F. (2019) Performance Analysis of Monolithic and Micro Service Architectures – Containers Technology. In: Mejia J., Muñoz M., Rocha Á., Peña A., Pérez-Cisneros M. (eds) Trends and Applications in Software Engineering. CIMPS 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 865. Springer, Cham, сt.270-279
125. Familiar B. (2015) From Monolithic to Microservice. In: Microservices, IoT, and Azure. Apress, Berkeley, CA, сt.1-7.
126. Nene A.V., Joseph C.T., Chandrasekaran K. (2019) Construing Microservice Architectures: State-of-the-Art Algorithms and Research Issues. In: Uden L., Ting IH., Corchado J. (eds) Knowledge Management in Organizations. KMO 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1027. Springer, Cham, сt. 364-376.
127. Christudas B. (2019) Microservices in Depth. In: Practical Microservices Architectural Patterns. Apress, Berkeley, CA, сt. 35-53.

128. Kalske M., Mäkitalo N., Mikkonen T. (2018). Challenges When Moving from Monolith to Microservice Architecture. In: Garrigós I., Wimmer M. (eds) Current Trends in Web Engineering. ICWE 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10544. Springer, Cham, ст. 32-47.
129. Gackenheimmer C. (2015). Introducing Flux: An Application Architecture for React. In: Introduction to React. Apress, Berkeley, CA, ст. 87-106.
130. Molnár E., Molnár R., Kryvinska N., Greguš M. (2014) ““Web Intelligence in practice”, The Society of Service Science.” Journal of Service Science Research 6 (1): 149-172.

