

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Казарян Артем Геннадійович

УДК 004.422.81

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ
З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ**

122 - Комп'ютерні науки та інформаційні технології

«12 - Інформаційні технології»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Казарян А. Г.

Науковий керівник

Теслюк Василь Миколайович,
доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Казарян А.Г. Методи та засоби управління системою «розумного» будинку з використанням хмарних обчислень.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» (галузь знань 12 «Інформаційні технології»). - Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2021.

Дисертацію присвячено підвищенню ефективності роботи систем управління приладами будинку за допомогою використання хмарних обчислень, алгоритмів штучних нейронних мереж та сучасних підходів до проектування високонавантажених інформаційних систем.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими темами. Подано відомості про апробацію результатів роботи та особистий внесок автора та його публікації.

У першому розділі дисертаційного дослідження проаналізовано основні напрямки розвитку комерційної сфери розробки систем «розумного» будинку та основні досягнення і дослідження з підвищення ефективності роботи систем «розумного» будинку, що опубліковані науковою спільнотою за останні роки.

Проведено аналіз існуючих систем «розумного» будинку та найбільш поширені їхні функції, а саме: функції системи безпеки, оптимізації енерговитрат, керування освітленням, терморегуляції.

На основі вищепроведеного 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 та обґрунтовано її реалізацію на основі модульного підходу з використанням готових програмних елементів, що комбінуються відповідно до поставлених для вирішення вимог і базових проектних рішень та таких принципів: використання клієнт-серверної архітектури, застосування шаблонів обробки великих потоків даних, модульності побудови системи, відкритості та сумісності програмно-апаратного забезпечення. На основі проведеного аналізу сформовано завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі вдосконалено метод синтезу засобів ліцензування, розгортання, масштабування та оптимізації навантаження у системах «розумного» будинку за допомогою запровадження хмарних обчислень.

Розроблено інформаційну модель структур синтезованих складових системи «розумного» будинку, яка базується на принципах клієнт-серверної та модульної архітектури і дає змогу формалізувати базову структуру системи та модифікувати її в процесі вдосконалення і додавання нових функцій.

Розроблено засоби ефективного та швидкого опрацювання великих об'ємів даних у системах «розумного» будинку із застосуванням архітектурного шаблону Redux, що забезпечує швидкодію та надійність роботи системи «розумного» будинку під час пікових навантажень з різким збільшенням вхідного потоку даних для опрацювання.

Розроблено метод управління приладами під'єднаних до систем «розумного» будинку на основі роботи алгоритмів штучного інтелекту, а саме алгоритму штучної нейронної мережі. Розроблено алгоритми вибору оптимального типу штучної нейронної мережі та вибору оптимальної структури внутрішніх шарів відповідно до поставленої для вирішення задачі.

Розроблено моделі управління приладами систем «розумного» будинку за допомогою синтезу алгоритму штучної нейронної мережі та мереж Петрі.

У третьому розділі розроблено метод емуляції роботи системи «розумного» будинку у помешканні з плануванням приміщень, розміщенням освітлювальних приладів та їх групуванням у помешканні, розміщенням електричних розеток та їх групуванням, розміщення сенсорів руху та зонуванням приміщень.

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.

У четвертому розділі дисертаційної роботи розроблено розподілену інформаційну технологію автоматизованого управління приладами «розумного» будинку на основі мереж Петрі з застосуванням роботи алгоритмів штучного інтелекту.

Розроблена структура модулів та архітектура програмної реалізації інформаційної технології, мережевої структури компонент.

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, архітектурний шаблон проектування Redux, ієрархічні мережі Петрі.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

1. Teslyuk V., Kazarian A., Kryvinska N., Tsmots I. Optimal artificial neural network type selection method for usage in smart house systems. *Sensors*. 2021. Vol. 21, iss. 1. 47.
2. Holovatyuy A., Teslyuk V., Kryvinska N., Kazarian A. Development of microcontroller-based system for background radiation monitoring. *Sensors*. 2020. Vol. 20, iss. 24. 7322.
3. Теслюк В. М., Казарян А. Г. Вибір оптимального типу штучної нейронної мережі для автоматизованих систем “розумного” будинку. *Науковий вісник НЛТУ України*. Т. 30, № 5. С. 90–93.
4. Казарян А. Г., Теслюк В. М. Розробка моделі керування приладами системи “розумний” будинок з використанням мережі Петрі та алгоритму штучної нейронної мережі. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 86. С. 126–135.
5. Теслюк В. М., Казарян А. Г., Казимира І. Я. Опрацювання даних у системах “розумного” будинку з використанням моделей на підставі мереж Петрі. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, № 1. С. 131–136.
6. Теслюк В. М., Цмоць І. Г., Казарян А. Г., Теслюк Т. В. Метод проектування систем “розумного” будинку з використанням архітектурного шаблону Redux. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 7. С. 146–150.
7. Kazarian A., Beregovska K., Teslyuk V. Data analysis model and forms of cloud analytical functions for “smart” house systems. *Information and innovation technologies in economics and administration : monograph / ed. by O. Chukurna, M. Gawron-Łapuszek*. Katowice, 2019. P. 17–27.
8. Kazarian A., Teslyuk V., Tsmots I., Greguš J. Development of a «smart» home system based on the modular structure and architectural data flow pattern Redux. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 155. P. 35–42.
9. Kazarian A., Teslyuk V., Tsmots I., Tykhan M. Implementation of the face recognition module for the “smart” home using remote server. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 871: *Advances in Intelligent Systems and Computing III*.

Selected papers from the International conference on computer science and information technologies, CSIT 2018, September 11-14, Lviv, Ukraine. P. 17–27.

10. Казарян А. Г., Теслюк В. М., Машевська М. В. Розроблення системи керування базою даних системи "розумного" будинку. Моделювання та інформаційні технології. 2018. Вип. 84. С. 184–190.
11. Kazarian A., Teslyuk V., Tykhan M., Mashevskaya M. Usage of SaaS software delivery model in intelligent house systems. *Przełąd elektrotechniczny*. 2019. Vol. 95, Nr 7. S. 38–41.
12. Казарян А. Г., Теслюк В. М., Коваль В. Я. Використання функції розпізнавання облич для контролю доступу користувачів та автоматизованого управління налаштувань приладів "розумного" будинку. Моделювання та інформаційні технології. 2018. Вип. 83. С. 180–185.
13. Kazarian, V. Teslyuk, I. Tsmots and M. Mashevskaya, "Units and structure of automated "smart" house control system using machine learning algorithms," 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), Lviv, 2017, pp. 364-366, doi: 10.1109/CADSM.2017.7916151.
14. K. Artem and T. Vasyl, "Structure and model of the smart house security system using machine learning methods," 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, 2017, pp. 105-108, doi: 10.1109/AIACT.2017.8020076.
15. K. Artem, T. Ivan and T. Vasyl, "Intelligent house as a service and its practical usage for home energy efficiency," 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2017, pp. 220-223, doi: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098773.
16. Казарян А. Г., Теслюк В. М. Розробка програмного ядра спеціалізованих систем інтелектуального управління приладами // Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні : збірник тез

- доповідей XIV Науково-практичної конференції (Львів, 17-20 квітня 2018 р.). – 2018. – С. 11–12.
17. K. Artem, N. Kunanets, R. Holoshchuk, V. Pasichnik and A. Rzhеuskyi, "Information Support of the Virtual Research Community Activities Based on Cloud Computing," 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2018, pp. 199-202, doi: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526685.
 18. 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.
 19. Artem K., Holoshchuk R., Kunanets N., Shestakevych T., Rzhеuskyi A. (2019) Information Support of Scientific Researches of Virtual Communities on the Platform of Cloud Services. In: Shakhovska N., Medykovsky M. (eds) Advances in Intelligent Systems and Computing III. CSIT 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 871. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01069-0_22
 20. Kazarian, A., Kunanets, N., Pasichnyk, V., Veretennikova, N., Rzhеuskyi, A., Leheza, A., & Kunanets, O. (2019). Complex Information E-Science System Architecture based on Cloud Computing Model. CEUR Workshop Proceedings, 2019, 2362
 21. Teslyuk, V., Kazarian, A., Kryvinska, N., Tsmots, I., Teslyuk, T. Automated synthesis method of smart home systems based on the architectural pattern redux. CEUR Workshop Proceedings, 2019, 2533, pp. 58–69
 22. A. Kazarian and V. Teslyuk, "Optimization of Neural Network Structure for Smart House Systems," 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 562-565, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879772.

SUMMARY

Kazarian A.G. Methods and tools for managing a "smart" home system using cloud computing.

The dissertation for obtaining a scientific degree of the Doctor of Philosophy on the specialty 122 "Computer science" (12 – Information technologies). – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2021.

The dissertation is devoted to increase of efficiency of work of control systems of devices of the house by means of use of cloud computing, algorithms of artificial neural networks and modern approaches for designing of highly loaded information systems..

The introduction substantiates the relevance of the topic of the dissertation, formulates the purpose and main objectives of research, identifies the scientific novelty of the work and the practical significance of the results, shows the relationship of work with scientific topics. Information on approbation of results of work and personal contribution of the author and his publication is given.

The first section of the dissertation research analyzes the main directions of development of the commercial sphere of smart home systems development and the main achievements and research on improving the efficiency of "smart" home systems published by scientific community in recent years.

The analysis of the existing systems of the "smart" house and their most common functions, namely: functions of the security system, optimization of energy consumption, lighting control, thermoregulation. Based on the above analysis, the requirements for the development of basic functions of smart home systems are formed, namely: high accuracy of automated prediction results, the ability to process large amounts of data and the ability to automatically scale the system during a sharp increase in system load.

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

analysis and research, the requirements for the system of "smart" house are formed and its implementation is justified on the basis of a modular approach using ready-made software elements that combine the requirements and basic design solutions and the following principles: usage of client-server architecture, application of templates for processing large data streams, modular construction of the system, openness and compatibility of software and hardware.

On the basis of the conducted analysis the tasks of dissertation research are formed. The second section improves the method of synthesis of licensing, deployment, scaling and load optimization in smart home systems through the introduction of cloud computing.

An information model of the structures of the synthesized components of the "smart" house system has been developed, which is based on the use of client-server and modular architecture and allows to formalize the basic structure of the system and modify it in the process of improving and adding new functions.

Developed tools for efficient and fast processing of large amounts of data in "smart" home systems using the architectural template Redux, which provides speed and reliability of the "smart" home system during peak loads with a sharp increase in input data flow for processing.

The method of control of devices of systems of "smart" house on the basis of work of algorithms of artificial intelligence, namely algorithm of an artificial neural network is developed.

Algorithms for selecting the optimal type of artificial neural network and selecting the optimal structure of the inner layers in accordance with the problem to be solved have been developed.

Models of control of devices of systems of "smart" house by means of synthesis of algorithm of an artificial neural network and Petri nets are developed.

The third section develops a method of emulating the system of a "smart" house in the room with the layout of the premises, placement of lighting fixtures and their grouping in the

room, placement of electrical outlets and their grouping, placement of motion sensors and zoning.

Models of house devices operation based on Petri nets have been developed, namely models of states of operation of subsystem of control of lighting devices of apartment, models of states of work of subsystem of monitoring of movement in room, models of states of work of subsystem of climate control in room.

In the fourth section of the dissertation the distributed information technology of the automated devices control of the "smart" house on the basis of Petri nets with application of work of algorithms of artificial intelligence is developed.

The structure of modules and architecture of information technology software implementation, network structure of components are developed.

Software for the synthesis of elements of the home appliance control system, which is based on the MongoDB database and written in JavaScript using NodeJS technology, has been developed.

Keywords: information technology, cloud computing, artificial neural network algorithm, client-server architecture, Redux architectural design template, hierarchical Petri nets.

**Scientific papers, in which the main scientific results of the dissertation
have been published**

1. Teslyuk V., Kazarian A., Kryvinska N., Tsmots I. Optimal artificial neural network type selection method for usage in smart house systems. *Sensors*. 2021. Vol. 21, iss. 1. 47.
2. Holovatyy A., Teslyuk V., Kryvinska N., Kazarian A. Development of microcontroller-based system for background radiation monitoring. *Sensors*. 2020. Vol. 20, iss. 24. 7322.
3. Teslyuk V., Kazarian A. Optimal type of artificial neural network for automated "smart" home systems selection. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy*. T. 30, № 5. P. 90–93.
4. Kazarian A., Teslyuk V. Development of a smart home device control model using a Petri net and an artificial neural network algorithm. *Modeling and information technology*. 2019. Vol. 86. P. 126–135.
5. Teslyuk V., Tsmots I., Kazarian A., Teslyuk T. A method "smart" house systems design using the Redux architectural template. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy*. 2019. T. 29, № 7. P. 146–150.
6. Teslyuk V., Kazarian A., Kazymyra I.. Data processing in a "smart" home system using models based on Petri nets. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy*. 2021. T. 31, № 1. P. 131–136
7. Kazarian A., Beregovska K., Teslyuk V. Data analysis model and forms of cloud analytical functions for “smart” house systems. *Information and innovation technologies in economics and administration : monograph / ed. by O. Chukurna, M. Gawron-Łapuszek*. Katowice, 2019. P. 17–27.
8. Kazarian A., Teslyuk V., Tsmots I., Greguš J. Development of a «smart» home system based on the modular structure and architectural data flow pattern Redux. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 155. P. 35–42.
9. Kazarian A., Teslyuk V., Tsmots I., Tykhan M. Implementation of the face recognition module for the “smart” home using remote server. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 871: *Advances in Intelligent Systems and Computing III*.

Selected papers from the International conference on computer science and information technologies, CSIT 2018, September 11-14, Lviv, Ukraine. P. 17–27.

10. Kazarian A., Teslyuk V., Mashevskaya M. Development of a database management system for a "smart" home system. *Modeling and information technology*. 2018. Vol. 84. P. 184–190.
11. Kazarian A., Teslyuk V., Tykhan M., Mashevskaya M. Usage of SaaS software delivery model in intelligent house systems. *Przegląd elektrotechniczny*. 2019. Vol. 95, Nr 7. S. 38–41.
12. Kazarian A., Teslyuk V., Koval V. Face recognition usage for user access control and automatically control smart home device settings. *Modeling and information technology*. 2018. Vol. 83. P. 180–185.
13. Kazarian, V. Teslyuk, I. Tsmots and M. Mashevskaya, "Units and structure of automated "smart" house control system using machine learning algorithms," 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), Lviv, 2017, pp. 364-366, doi: 10.1109/CADSM.2017.7916151.
14. K. Artem and T. Vasyl, "Structure and model of the smart house security system using machine learning methods," 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, 2017, pp. 105-108, doi: 10.1109/AIACT.2017.8020076.
15. K. Artem, T. Ivan and T. Vasyl, "Intelligent house as a service and its practical usage for home energy efficiency," 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2017, pp. 220-223, doi: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098773.
16. Kazarian A., Teslyuk V. Development of a software core for specialized systems of devices intelligent control // Problems and prospects of economic, business development and computer technologies in Ukraine: Proceedings of the XIV Scientific and Practical Conference (Lviv, 17-20 April 2018). – 2018. – P. 11–12.

17. K. Artem, N. Kunanets, R. Holoshchuk, V. Pasichnik and A. Rzhеuskyi, "Information Support of the Virtual Research Community Activities Based on Cloud Computing," 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2018, pp. 199-202, doi: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526685.
18. 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.
19. Artem K., Holoshchuk R., Kunanets N., Shestakevych T., Rzhеuskyi A. (2019) Information Support of Scientific Researches of Virtual Communities on the Platform of Cloud Services. In: Shakhovska N., Medykovsky M. (eds) Advances in Intelligent Systems and Computing III. CSIT 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 871. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01069-0_22
20. Kazarian, A., Kunanets, N., Pasichnyk, V., Veretennikova, N., Rzhеuskyi, A., Leheza, A., & Kunanets, O. (2019). Complex Information E-Science System Architecture based on Cloud Computing Model. CEUR Workshop Proceedings, 2019, 2362
21. Teslyuk, V., Kazarian, A., Kryvinska, N., Tsmots, I., Teslyuk, T. Automated synthesis method of smart home systems based on the architectural pattern redux. CEUR Workshop Proceedings, 2019, 2533, pp. 58–69
22. A. Kazarian and V. Teslyuk, "Optimization of Neural Network Structure for Smart House Systems," 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 562-565, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879772.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	16
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ.....	22
1.1 Аналіз ринку систем «розумного» будинку	22
1.2 Аналіз існуючих моделей та методів систем «розумного» будинку з використанням алгоритмів штучного інтелекту	25
1.3 Аналіз існуючих засобів систем «розумного»	34
1.4 Недоліки та проблеми впровадження використання існуючих систем «розумного» будинку.....	48
1.5 Висновки до розділу 1.....	54
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИМИ СИСТЕМАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ТА АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	57
2.1 Розроблення моделі ліцензування, розгортання, масштабування та оптимізації навантаження у системах «розумного» будинку за допомогою запровадження хмарних обчислень	57
2.2 Розроблення методу ефективного та швидкого опрацювання великих об'ємів даних у системах «розумного» будинку	66
2.3 Розроблення методу управління приладами систем «розумного» будинку на основі роботи алгоритмів штучного інтелекту	76
2.4 Розроблення моделі управління приладами систем «розумного» будинку за допомогою синтезу алгоритму штучної нейронної мережі та мереж Петрі.....	89
2.5 Розроблення алгоритмів роботи системи «розумного» будинку з використанням технологій хмарних обчислень, мереж Петрі та алгоритмів штучного інтелекту.....	94

2.6 Висновки до розділу 2.....	102
РОЗДІЛ 3. ЗАПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ, МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ТА АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	104
3.1 Розроблення методу емуляції роботи системи «розумного» будинку у помешканні	104
3.2 Моделі роботи приладів будинку на основі мереж Петрі.....	112
3.3 Методи автоматизованого управління приладами будинку за допомогою роботи алгоритмів штучного інтелекту	120
3.4 Висновки до розділу 3.....	126
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРИЛАДАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	128
4.1 Структура модулів та архітектура програмної реалізації інформаційної технології	128
4.2 Особливості розроблення програмного забезпечення інформаційної технології	142
4.3 Розроблення інформаційного забезпечення програмних засобів	150
4.4 Розроблення архітектурного рішення та процесу розгортання розробленої системи «розумного» будинку	158
4.5 Результати дослідження.....	162
4.6 Висновки до розділу 4.....	171
ВИСНОВКИ.....	173
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	175
Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи	191
Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	192

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БД – база даних

ML – machine learning (машинне навчання)

ШНМ – штучна нейронна мережа

ПЗ - програмне забезпечення

UI - user interface (інтерфейс користувача)

API - application programming interface (прикладний програмний інтерфейс)

IoT - internet of things (інтернет речей)

AI - artificial intelligence (штучний інтелект)

ШІ - штучний інтелект

SaaS - software as a service (програма як послуга)

DNS - domain name system (система доменних імен)

CDN - content delivery network (мережа розповсюдження контенту)

MAC – мультиагентні системи

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.

В дисертаційній роботі досліджуються методи та засоби автоматизованого управління побутовими приладами будинку з використанням сервісів хмарних обчислень, а також застосування алгоритмів штучних нейронних мереж для атоматизованого прийняття рішень системою. Визначаються та аналізуються методи пошуку оптимальних параметрів штучних нейронних мереж для вирішення задач у контексті роботи систем «розумного» будинку і використання хмарних обчислень для забезпечення надійності роботи, масштабованості та зменшення витрат на користування розробленою системою «розумного» будинку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації «Методи та засоби управління системою «розумного» будинку з використанням хмарних обчислень» відповідає науковому напрямку кафедри автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка»: «Методи, моделі та компоненти інформаційних управляючих систем і технологій».

Дисертаційна робота виконана у межах держбюджетних науково-дослідних робіт Національного університету “Львівська політехніка”:

- «Інтелектуальні інформаційні технології багаторівневого управління енергоефективністю регіону» (номер державної реєстрації 0117U004450; термін виконання роботи: січень 2017 - грудень 2018 рр.);
- «Нейромережева технологія захисту та передачі даних у реальному часі з використанням шумоподібних кодів» (номер державної реєстрації 0119U002256; термін виконання роботи: січень 2019 - грудень 2020 рр.).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження 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 з використанням хмарних обчислень та алгоритму штучних нейронних мереж.
- Розробити метод опрацювання великих обсягів даних для систем «розумного» будинку на основі архітектурного шаблону Redux.
- Розробити та запровадити модель поширення програмного забезпечення для систем «розумного» будинку, що ґрунтується на використанні моделі SaaS.
- Розробити 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.
- Побудувати модель опрацювання даних в системі «розумного» будинку на основі ієрархічних та кольорових мереж Петрі.
- Розробити програмні засоби інформаційної технології управління системою «розумного» будинку з використанням хмарних обчислень.

Об’єктом дослідження є процес управління системою «розумного» будинку з використанням технологій хмарних обчислень та штучних нейронних мереж.

Предметом дослідження є методи моделі та засоби управління системою «розумного» будинку з використанням технологій хмарних обчислень та штучних нейронних мереж.

Методи дослідження. Для розв'язання сформульованих задач застосовано методи: синтезу та аналізу. Метод синтезу та аналізу використано для побудови архітектури та програмної реалізації розподіленої системи «розумного» будинку з використанням алгоритму штучних нейронних мереж та хмарних обчислень.

Наукова новизна отриманих результатів. Новизна основних результатів дисертації формується завдяки вперше розробленому методу пошуку оптимального типу та внутрішньої структури штучної нейронної мережі для розв'язання окремих задач сфери роботи систем «розумного» будинку інтегрованому у хмарне обчислювальне середовище.

Вперше застосовано модель поширення програмного забезпечення для систем «розумного» будинку, що ґрунтується на використанні моделі SaaS, яке дає змогу зменшити вартість та збільшити швидкодію роботи систем «розумного» будинку.

Вперше розроблено метод опрацювання великих обсягів даних для систем «розумного» будинку на основі архітектурного шаблону Redux, що пришвидшує та збільшує надійність опрацювання подій у системі.

Вдосконалено 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.

Вперше використано ієрархічні кольорові мережі Петрі для розроблення масштабованої та відмовостійкої моделі опрацювання даних у системах «розумного» будинку.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає у тому, що розроблений підхід використання алгоритму штучних нейронних мереж у середовищі хмарних обчислень є універсальним для підтримки процесів

автоматизованого прийняття рішень у системах «розумного» будинку без обмежень у специфіці поставлених задач, таких як безпека, енергоефективність, тощо.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною науковою працею, в якій автором особисто розроблено нові наукові ідеї та результати, що дозволили вирішити наукове завдання використання хмарних обчислень та алгоритмів штучних нейронних мереж у сфері розробки систем «розумного» будинку.

Робота містить теоретичні і прикладні положення та висновки, сформульовані дисертантом особисто. Ідеї, положення чи гіпотези інших авторів, які присутні в дисертації, мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей та результатів здобувача.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження апробовано на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях:

1. Інформаційне суспільство: тенденції регіонального розвитку (ISRDT-2016), Львів, 2016
2. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), Lviv, 2017.
3. 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, 2017.
4. 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2017
5. 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2018.
6. CEUR Workshop, 2019.
7. 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2019.

Публікації. У 22 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них отримано вагомий науковий доробок аспіранта у вигляді опублікованих 5 статей у наукових фахових виданнях України; 1 статті у науковому фаховому виданні

України, що включене до наукометричних баз даних; 6 статей у наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до наукометричних баз даних; 1 монографії та 9 тезах доповідей конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 194 сторінках та складається з анотації, змісту, переліку скорочень, вступу, чотирьох основних розділів, в яких міститься 61 рисуноків та 14 таблиць, списку використаних джерел з 130 найменувань, а також 2 додатків. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України. Робота написана грамотною українською мовою з використанням сучасної наукової термінології, а стиль викладення матеріалу є послідовним та логічним.

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. IoT 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 жалюзьями/шторами; системи охорони здоров'я; побутова техніка та роботизація.

Ринок «розумних» будинків Північної Америки зафіксував сильне зростання протягом останніх декількох років. Кількість встановлених систем «розумного» будинку збільшилась на 51,1 відсоток до 82,7 мільйона. Приблизно 8,3 мільйонів з них були багатофункціональними, або комплексними системами, тоді як 74,4 мільйони являли собою локальні рішення, розроблені для вирішення однієї конкретної функції. Так як у деяких будинках може використовуватись більше, ніж одна «розумна» система, приблизна кількість «розумних» будинків на кінець 2007 року була 22,3 мільйона. Це відповідає 15,9 відсоткам всіх домашніх господарств Північної Америки, що вважається як найдосконаліший для дослідження та найрозвинутіший ринок «розумних» будинків у світі. Передбачається, що до 2022 року кількість помешкань у яких будуть встановлені системи «розумного» будинку, зростатиме з річними темпом 23,1 відсотка, у результаті чого «розумних» будинків стане приблизно 63,0 мільйона.

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 заздалегідь 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, Ives 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 давачів 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 жалюзями та фіранками Arlo Ultra, Ecobee4, VELUX тощо [17, 18]. Функції прогнозування систем «розумного» будинку за допомогою III 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.

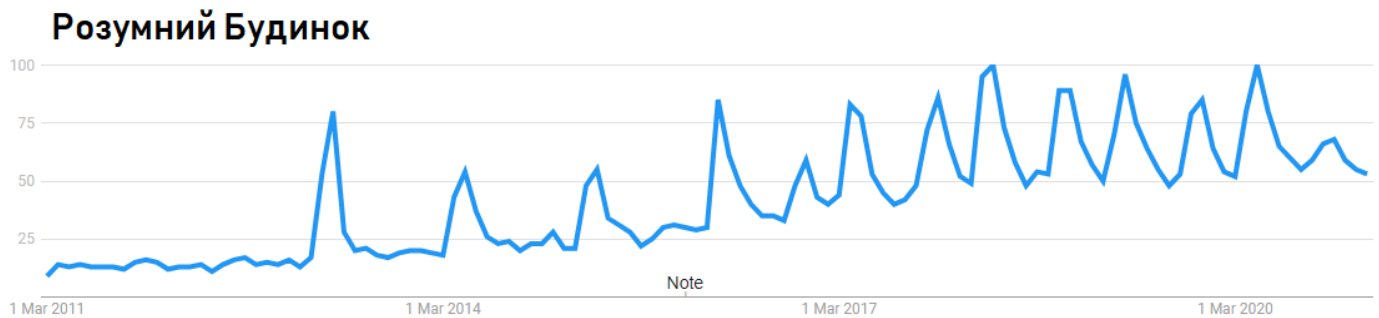


Рис. 1.1. Графік популярності пошукових запитів

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

допомогати 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 приходить 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 ґрунтується 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 Аналіз існуючих засобів систем «розумного» будинку

Слово "розумний" останнім часом стало популярним терміном для інноваційних технологій, які використовують можливості штучного інтелекту. Основною характеристикою «розумної» технології є здатність отримувати інформацію з навколишнього середовища та реагувати відповідно до отриманих даних [56, 57]. Довгостроковою метою «розумних» технологій є покращення добробуту людей і дана

мета стала основою інноваційної концепції «розумного дому» [58, 59, 60, 61]. Хвиля популярності перетворення продуктів і послуг у «розумні» викликала підвищення можливостей сумісності пристроїв та сприяла зростанню світового обороту продажів технологій «розумних» будинків [62]. Переваги які стали можливими завдяки «розумним» технологіям викликали інтерес науковців і виробників побутових приладів та інформаційних сервісів. На сьогоднішній день, значна увага досліджень приділяється побутовій техніці, де «розумні» технології стали інтенсивно вивчатись і практично застосовуватись [63].

Паралельно із збільшенням інвестицій підприємств у сектор «розумного» дому, академічне співтовариство активізувало свої зусилля з вивчення концепції «розумного» будинку, технологічних можливостей, наслідків його використання та впливу на життя людей. Опубліковано ряд наукових робіт, що досліджують «розумні» технології з різних ракурсів [64, 65, 66, 67, 68, 69, 70]. Наприклад, існує дослідження у якому вивчались питання охорони здоров'я, роблячи фокус на старіння населення [71]. Автори відзначили, що існує значні переваги ідеї того, що концепція охорони здоров'я має бути замінена доглядом на дому. Використання систем «розумних» будинків для підтримки здоров'я людей похилого віку також було розглянуто у роботах, які підтримали ідею зміни поглядів в галузі охорони здоров'я. Однак ці роботи наголошують, що трансформація традиційної медичної допомоги в систему догляду на дому відбулась на ранньому етапі і існує потреба в оцінці нової тенденції з точки зору сприйняття людей. Пізніше було проведене дослідження використання портативних датчиків, які носились літніми людьми у межах «розумного» життєвого середовища. Автори розглянули способи використання «розумних» технологій, підкресливши переваги використання носимих портативних датчиків у рамках дослідження економічної доцільності переходу на тенденцію догляду на дому. Відповідно до цих досліджень, були переглянуті останні тенденції сфери «розумних» будинків у контексті сфери охорони здоров'я [65, 66]. Аналогічно, були роботи у яких досліджували послуги для певного сегменту користувачів з фізичними обмеженнями. Автори представили огляд пристроїв, які мали

потенціал для продовження самостійного життя жителів літнього віку. Вищезгадані роботи показували, як зростаюча популярність досліджень про сферу застосування «розумних» домашніх технологій літніми користувачами, супроводжується появою великої кількості робіт сфокусованих на галузі охорони здоров'я. У 2015 році у опублікованій науковій роботі був розглянутий технічний стан систем «розумних» будинків, розглядалися датчики, комунікаційні пристрої, протоколи та алгоритми, що складають життєве середовище для населення літнього віку [70]. Відповідно до висновків публікації, автори останнім часом виробили інтерес до систем енергоефективності [72, 73, 74, 75, 76], також зосереджуючись на алгоритмах та пристроях, які використовувались для моніторингу та контролю споживання енергії. Огляд даної специфіки використання систем «розумного» будинку, опублікований у 2017 році, надав чітку картину послуг для контролю споживання енергії, зробивши висновок, що технології «розумного» дому пропонують необхідні можливості для підвищення стабільності та ефективності керування використанням ресурсів [73].

Незважаючи на зростаючу кількість робіт, дослідження в цій галузі обмежені трьома темами. По-перше, дослідження зазвичай не враховують комплексність концепції «розумного» будинку, наслідком чого є однобічне представлення його можливостей та сегментів користувачів [77]. У 2008 році було запропоноване дослідження стану сфери систем «розумних» будинків, що приймають комплексну перспективу, а не зосереджуються на конкретній цільовій аудиторії, послугі чи технології [56]. Дане дослідження охопило технічний стан різних проектів «розумного» дому та представило всебічне розуміння сучасних та майбутніх проблем, які вирішують «розумні» будинки та «розумні» технології. Автори зауважили тенденцію в описуванні потенційних переваг технології, але ігноруючи точки зору і відгуки користувачів та дотримуючись суто продукто-орієнтованого підходу. За їх словами, переважна технологічна спрямованість дослідження пояснює низький рівень позитивного сприйняття систем «розумних» будинків на ринку. По-друге, більшість науковців прагнуть досліджувати «розумні» будинки у межах технічної реалізації, орієнтуючись на функції пристроїв,

інфраструктуру та архітектуру автоматизованих будинків [78, 79]. По-третє, більшість досліджень обговорюють потенційні переваги, які у теорії здатні здобути системи «розумного» будинку [80], надаючи, при цьому, мало емпіричних доказів щодо задоволення потреб користувачів та переваг використання системи «розумного» будинку у звичайному побутовому житті.

Протягом останніх кількох років системи «розумного» будинку швидко прогресували і нарешті дійшли до основних ринків та сегментів користувачів. З огляду на вищезазначені обмеження та той факт, що минуло майже десятиліття з моменту більш ґрунтовного огляду наукових досягнень у цій сфері [56], існує гостра потреба переглянути сучасний стан досліджень.

Проведення аналізу літературних джерел включало етап систематичного пошуку на основі відповідних пошукових термінів. Було обрано електронну базу даних Scopus, оскільки вона являє собою найбільшу базу цитат та рефератів дослідницької літератури і забезпечує широке висвітлення теми огляду наукових досягнень [81]. Вибір ключових слів обмежувався терміном "розумний будинок". Вибір фрази був виправданий вимогою охопити всю область впливу систем «розумного» будинку всередині будівель та поза ними, а також такі аспекти, як користь використання систем «розумних» будинків. Формулювання ключових слів почалося з більш широкого розуміння і було звужене до більш конкретних термінів (наприклад, розумний дім, розумні будинки, розумне будівництво, технологія розумного дому та розумні технології). Початковим моментом був перегляд результатів на основі вищезазначеного пошуку за ключовими словами. Під час дослідження статей було використано можливість розширеного пошуку, що розширювало результати публікацій у формі «статей», «розділів книг», «оглядів» та «статей у пресі», опублікованих англійською мовою. Застосовувалося обмеження критеріїв пошуку до публікацій, опублікованих у період з 2002 по 2019 рік, посилаючись на період, коли дослідження в цій галузі стали систематичними, що відображається різким збільшенням кількості публікацій у 2002 році порівняно з схожими дослідженнями, що публікувалися раніше. Предметна область пошуку була обмежена

такими дисциплінами, як "суспільствознавство", "бізнес та менеджмент", "мистецтво та гуманітарні науки", "психологія" та "наука про рішення". В результаті пошуку було виявлено 457 документи. З огляду на мету цього аналізу, були включені лише академічні статті, що стосуються систем «розумних» будинків, «розумних» технологій та їх користувачів.

Для збільшення кількості досліджень, що використовувались у аналізі використано пошук зворотнього цитування [82]. Зворотне цитування є методом отримання глибших знань про тему пошуку, крім вибраних ключових слів. Воно визначається як процес знаходження та дослідження посилань, цитованих у вибраних статтях [83]. Дослідження зворотних цитат було застосовано до 42 вибраних статей, в результаті чого до документів, завантажених із бази даних, був доданий 101 документ. Об'єднавши роботи, які були визначені за допомогою електронного пошуку в базі даних та попереднього пошуку цитування, для огляду було завантажено 143 статті.

Для пояснення терміну «розумного» будинку були використані різні визначення. Наприклад є визначення, що висвітлювали природу розумних будинків [84]. Автори визначили термін «розумний» будинок, як "будівлю, обладнану обчислювальними та інформаційними технологіями, яка передбачає потреби мешканців, працюючи над підвищенням їхнього комфорту життя, зручності, безпеки та розваг за допомогою управління технологіями в будинку та зв'язком зі світом за його межами». Їхнє визначення охоплювало технологічну складову системи, послуги та функції, які вона має змогу надавати та типи потреб користувачів, які розробники прагнуть задовольнити за допомогою «розумних» будинків. Аналогічного підходу дотримувалося інше визначення, яке описує «розумні» будинки як «інтеграцію різних служб у будинку, використовуючи загальну систему комунікації. Це забезпечує економну, безпечну та комфортну експлуатацію будинку та включає високий рівень інтелектуальної функціональності та гнучкості». Хоча обидва визначення мають схожі принципи, вони відрізняються між собою за функціями, які може надати технологія і типом користувачів, які вона має на меті задовольнити. Загалом, більшість науковців при

визначенні «розумних» будинків посилаються на технологічні ознаки. Деякі дослідники визначають, що "розумний дім - це будівля, обладнана високотехнологічною мережею, яка зв'язує датчики та побутові пристрої, якими можна віддалено контролювати, отримувати доступ та надавати функціонал, що відповідає потребам його мешканців» [85]. Інші дослідження дотримувались аналогічного підходу без конкретизації технічних елементів «розумних» будинків [68]. Автори констатували, що це "домашнє середовище, яке володіє інтелектом навколишнього середовища та можливістю автоматичного керування, яке дозволяє йому реагувати на поведінку мешканців та надавати їм різні види допомоги". Розглянуті визначення [68, 85] поділяють ідею здатності реагувати на потреби мешканців за допомогою автоматизованих технічних рішень. Технологічну перспективу також підтримали інші дослідники, які описали її як систему, вдосконалену трьома рівнями «розумності», а саме «розумними» приладами, «розумним» управлінням та «розумними» датчиками. Інтеграція та співпраця цих трьох компонент створює «розумне» побутове середовище у будинку.

Сервісне визначення є ще одним підходом до розуміння «розумного» будинку. У деяких поглядах дослідників, основною функцією, яку впроваджує «розумний» дім, є управління споживанням енергії. Таке бачення полягає у тому, що інтелектуальний будинок обладнаний безліччю пристроїв, які співпрацюють один з одним як однорідна система, сприяє ефективному управлінню споживанням енергії. Також було визначено, що система працює завдяки інтеграції технологічних функцій, таких як «розумне» опалення та «розумні» лічильники. Ця група визначень звертає більше увагу до рівня споживання енергії та сприяє потенціалу функцій «розумного» будинку для підвищення комфорту користувачів. Орієнтуючись на інший контекст, були підкреслені потреби в охороні здоров'я з погляду людей похилого віку. Це визначення зазначає, що "розумний дім - це будинок, який обіцяє забезпечити економну допомогу у життєдіяльності на дому для людей похилого віку та користувачів з обмеженими можливостями". Існує ряд інших пояснень, які підтримують концепцію технології «розумного» будинку для задоволення потреб людей похилого віку, підвищення якості життя та сприяння незалежному життю

користувачів [70]. Дистанційно керовані технології дозволили запровадити послуги, які б відповідали потребам населення літнього віку.

Серед вищезазначених визначень є суттєве пересікання, яке виділяє три спільні характеристики: технології, функції та можливість задоволення потреб користувачів. Основою «розумного» будинку є технологія, яка складається з апаратних та програмних компонентів, включаючи датчики та побутову техніку.

Представлені у вигляді предметів чи електронних пристроїв, датчики здатні виявляти зміни навколишнього середовища [59]. Датчики інтегровані у побутову техніку за допомогою бездротових та дротових систем, що дають змогу стежити за мешканцями та відслідковувати їх дії під час перегляду телевізора, приготування їжі, сну, прибирання та проведення ряду інших занять. Система представляє комбінування приладів та датчиків, які надають різноманіття функцій системи, з урахуванням потреб мешканців. Архітектура системи визначає функції та користь, яку може надати «розумний» будинок [56]. Що стосується підтримки комфортного способу життя, «розумний» будинок представляє оселю з датчиками та побутовими пристроями, пов'язаними через комунікаційну мережу. Це дає можливість користувачам дистанційно керувати побутовими приладами та зменшувати тягар повсякденної побутової діяльності на мешканців [66]. Підключені пристрої дають можливість мешканцям «розумного» будинку ефективно керувати споживанням енергії, підвищуючи їх зручність та комфорт у щоденному побуті. Повністю автоматизовані пристрої мають можливості для покращення якості життя та заохочення до самостійного життя мешканців, особливо для людей похилого віку, завдяки постійному контролю за здоров'ям, а також можливості надавати віртуальну медичну допомогу у випадках потреби. «Розумний» будинок являє собою інтелектуальні пристрої та сенсори, інтегровані в інтелектуальну систему, надаючи функції управління, моніторингу, підтримки та адаптивного обслуговування та охоплюючи цілий спектр економічних, соціальних, медичних, емоційних та охоронних переваг.

Функції, які забезпечують «розумні» будинки, поділяються на три типи: будинки, що надають догляд за людьми літнього віку, допомагають у догляді за дітьми та забезпечують загальні контролюючі функції щодо охорони здоров'я людей. Другий тип має на меті виявити та зібрати мультимедійну інформацію у вигляді відео та фото файлів побутового життя мешканців будинку. Цей тип концепції «розумного» будинку може викликати занепокоєння щодо конфіденційності та відчуття вторгнення у приватний простір. Третій тип - "будинки нагляд". Його функції спрямовані на опрацювання даних для прогнозування та попередження мешканців у разі майбутніх природних катастроф або загроз їхній безпеці. Функції цих «розумних» будинків полягають у зборі даних із навколишнього середовища для виявлення та інформування людей про загрозу вторгнення у помешкання. Жодному проекту не вдалося поєднати всі функції, які є передбаченими для забезпечення спостереження за будинком [68]. Запропонована типологія «розумних» будинків, потенційно може бути розширена додатковою категорією. Ряд науковців визнали, що популярне останнім часом бажання людей до екологічної обізнаності призвело до особливого типу «розумного» будинку [57, 86, 87, 88, 89]. Ці «розумні» будинки мають на меті позитивно впливати на екологію, дозволяючи мешканцям контролювати та регулювати енергоспоживання у їхніх будинках. Також у деяких наукових роботах представлений «розумний» будинок як нове та ґрунтовне рішення для зменшення рівня споживання енергії та позитивному впливу на екологію [87, 93]. Спеціальні датчики та автоматичні системи моніторингу в «розумних» будинках дають змогу досягти скороченню рівня споживання енергії без вторгнення у життя мешканців та необхідності зміни їхніх побутових звичок.

Після інших проведених досліджень, системи «розумного» будинку розділили на чотири покоління, щодо рівня їхньої технологічної досконалості [89]. Такий поділ дозволив побачити еволюцію систем «розумного» будинку. Системи «розумного» будинку першого покоління представляли технології, не інтегровані з штучним інтелектом, а такі, що активувувались мешканцями вручну. Технології «розумного» будинку другого покоління використовували елементарні пристрої з використанням AI.

Вони були розроблені для виявлення змін у навколишньому середовищі за допомогою датчиків, для контролю за станом здоров'я та виявлення непослідовності дій мешканців за допомогою портативних пристроїв, а також для надання допомоги у щоденних домашніх справах за допомогою побутових приладів із вбудованими функціональними програмами. Третє покоління систем «розумного» будинку започаткувало період технологічної сумісності приладів та багатофункціональності. Це стало можливим завдяки впровадженню голосового управління та зв'язку з іншими пристроями, що у свою чергу дало можливість отримувати, опрацьовувати та передавати дані всередині мережі пристроїв. Очікується, що четверте покоління технологій «розумного» будинку замінить існуючі датчики такими, що будуть вбудовані під шкіру. Ці датчики мають великий потенціал для віддаленого моніторингу та позитивного впливу на здоров'я мешканців.

Функції «розумного» будинку можна додавати до систем поступово, ефективно створюючи спектр від «традиційного будинку» до «повністю розумного» [90]. Враховуючи це, академічні дослідники та розробники систем «розумного» будинку прагнули спостерігати та вивчати побутову діяльність мешканців у традиційних будинках. Шляхом практичних досліджень та проектів «розумного» будинку вчені надавали рекомендації щодо розвитку технологій «розумного» будинку, які б створювали різні нові функції, для покращення рівня життя мешканців. З метою систематизації функцій систем «розумного» будинку була проаналізована наукова література, що дало змогу класифікувати системи на основі «розумних» пристроїв, які використовувались розглянутими системами та функцій, які вони пропонують [91, 92]. Більшість розглянутих статей описували функції, які спрямовані на забезпечення комфортного життя мешканців, 31 стаття була присвячена дослідженню функцій моніторингу, менша кількість статей була зосереджена на лікувальній терапії та функціях моніторингу здоров'я мешканців за допомогою технологій «розумного» будинку. Лише дві статті розглядали функцію автоматизованих рекомендацій, які здатні надати «розумні» датчики.

Ряд досліджень намагаються практично зрозуміти технічну сторону систем «розумного» будинку. Протягом багатьох років спостерігався поступовий розвиток від вивчення технічної сторони систем «розумних» будинків до їх вивчення з перспективи використання користувачами. Це призвело до більш глибокого розуміння наслідків використання систем «розумних» будинків на життя людей.

У наукових роботах обговорюються потенційні та існуючі переваги, які системи «розумних» будинків можуть запропонувати користувачам та їх довгостроковий вплив на життя та навколишнє середовище користувачів. Роботи, що зосереджуються на потенційних вигодах, розглядають можливі позитивні результати використання технологій розумного дому користувачами [80, 94]. Дослідження існуючих переваг вивчають відгуки користувачів про системи «розумного» будинку та мотиваційний вплив сприйняття цієї технології. Порівняння існуючих та потенційних переваг виявляє розбіжності між двома перспективами. З точки зору користувача, можна зрозуміти фактори, які є основними для успішного просування систем «розумних» будинків на ринку технологій побутової автоматизації.

Системи «розумних» будинків можуть допомагати людям похилого віку, людям з хронічними хворобами як всередині будинку, так і поза ними [95]. Користь для здоров'я може бути виражена не тільки тим, коли система виконує функції для забезпечення комфорту, моніторингу та автоматизованого управління побутовими приладами, а також можливістю надання рекомендацій мешканцям будинку. Основними перевагами використання такої системи для людей з проблемами зі здоров'ям є швидкість реакції системи, стабільність роботи та зручність користування для користувачів, що позитивно впливає на якість медичного догляду. Інша функція систем «розумного» будинку, що стосується здоров'я користувачів - це моніторинг та контроль за хворобами. Стан людей похилого віку може контролюватися за допомогою «розумних» домашніх пристроїв, які можуть попередити користувачів у разі будь-якої небезпеки стану здоров'я [94]. Ці інноваційні дії дають змогу лікарям віддалено контролювати стан здоров'я пацієнтів, виявляти зміни, що загрожують життю, на ранній стадії та при необхідності навіть

віддалено надавати медичну допомогу. Моніторинг хронічних захворювань, використання записів про стан здоров'я та електронних рецептів оптимізують дані та допомагають вести реєстр стану здоров'я, що потенційно може зменшити кількість медичних помилок [96]. Також, консультаційна функція «розумних» домашніх додатків, реалізована за допомогою віртуальних медичних візитів, спрямована на сприяння покращенню умов життя населення похилого віку шляхом заміни фізичних відвідувань клініки та лікарень дистанційною медикаментозною терапією або консультаціями [94].

З точки зору користувачів, послуги, пов'язані зі здоров'ям, віддаленим консультуванням та моніторингом, не завжди сприймаються як користь і неоднозначно впливають на наміри використовувати системи «розумного» будинку. З одного боку, дослідження показують, що респонденти загалом позитивно ставляться до технології «розумного» дому, відзначаючи ряд переваг. Серед переваг, які найбільше згадували учасники опитувань, були можливість більш ефективного використання власного часу та економія витрат за допомогою функцій, які може надавати «розумна» система віддалено в порівнянні з фізичними відвідуваннями лікарень. Дослідження Керблера, з іншого боку, виявило, що користувачі похилого віку скептично ставляться до переваг, які можуть принести системи «розумного» будинку. Різницю у результатах різних досліджень можна пояснити різними географічними зонами, де проводилися дослідження, що може відображати різноманітність рівня технологічної обізнаності. Ці фактори можуть потенційно пом'якшити різні результати у сприйнятті допоміжних технологій систем «розумних» будинків у різних країнах.

Системи «розумних» будинків стали дуже ефективними у скороченні та моніторингу рівня споживання електроенергії в житлових приміщеннях. Зростаючі загрози, такі як зміни клімату, глобальне потепління та підвищення цін на електроенергію, викликали інтерес до «розумних» систем. Використання енергоефективних пристроїв та інноваційних технологій дало змогу зменшити споживання електроенергії, що є життєво важливим для задоволення зростаючого попиту на використання електроенергії [57, 88, 97].

Вигода від енергоефективності стала можливою завдяки впровадженню чотирьох функцій: моніторинг інформації про споживання енергії, контроль шаблонів споживання через віддалені пристрої, автоматизоване управління приладами, спрямоване на досягнення ефективності та оптимізації та надання автоматизованих рекомендацій користувачам [87]. У загальнодержавному масштабі більш високий контроль над використанням енергії може зменшити викиди вуглецю та призвести до перетворення традиційних енергетичних систем у відновлювані джерела виробництва електроенергії [86]. Зусилля дослідників вже вкладені у вивчення запровадження вітрової, сонячної та геотермальної енергії в енергетичних системах «розумного» будинку. Інтеграція відновлюваних систем у системи «розумних» будинків може збільшити ефективність розумного використання електроенергії.

Незважаючи на постійне обговорення ролі систем «розумного» будинку у сфері захисту екології, ряд досліджень відображають використання з перспективи користувача, розмежовуючи існуючі переваги від потенційних. Порівняльне дослідження показало, що серед користувачів різних країн сільські та міські райони мають різне ставлення до захисту екології. Відповідно, вплив цього фактору на намір перейти на технологію «розумного» дому різниться. Дослідження показало, що захист екології став більш важливим фактором для користувачів у сільській місцевості. Цей результат пояснюється сильнішою роллю економічної вигоди для міських жителів, яка переживає за екологічну проблематику. Різноманітність способів використання, ставлення та цінностей потенційно може бути пояснено різноманітними факторами, включаючи тип житла, доступність послуг, соціальні контакти.

Фінансові вигоди застосування систем «розумних» будинків, як правило, пов'язані з екологічною вигодою та вигодою пов'язаною зі здоров'ям. Хоча в довгостроковій перспективі використання енергозберігаючих пристроїв призводить до покращення екології, безпосередньою перевагою ефективного управління споживанням енергії є зменшення витрат на електроенергію. Фінансові вигоди можуть бути реалізовані двома способами. По-перше, використання «розумних» електричних приладів та «розумних»

лічильників призводить до підвищення обізнаності щодо звичок споживання шляхом регулярного моніторингу використання енергії. По-друге, прозорість споживання енергії дає змогу порівнювати тарифи з іншими постачальниками енергії. На відміну від потенційних вигод, існуючі і підтверджені фінансові вигоди були вивчені як окрема група факторів, що підтримують мотивацію користувачів та намір перейти від традиційних побутових приладів до «розумних». Незважаючи на загальновизнані фінансові переваги використання розумних будинків, дослідження відношення споживачів не підтвердили це припущення. Наприклад, через розмір витрат на обслуговування та відносно низькі заощадження користувачі не знаходять фінансові вигоди причиною серйозного зацікавлення системами «розумного» будинку [85]. Ще одне дослідження про зацікавлення системами «розумних» будинків виявило, що користувачі, як правило, зацікавлені у придбанні системи «розумного» дому, завдяки її здатності скорочувати витрати на споживання енергії. Однак думка, що інвестування у такі технології не призводить до очікуваної рентабельності інвестицій, підкреслює небажання користувачів впроваджувати системи «розумного» будинку у власних помешканнях [57, 85]. Крім того, сила мотивації фінансової вигоди залежить від двох умов, на які потрібно звернути увагу при аналізі сприйняття людьми фінансових вигод при використанні систем «розумних» будинків: місця, де впроваджується технологія та важливості інших мотивів [98]. Географічні відмінності користувачів можуть мати позитивний зв'язок із соціально-економічним статусом, що призводить до різного психологічного сприйняття витрат. Наприклад, користувачі із країн з більш високим утилітарним менталітетом та сільських районів можуть бути більш схильними до економічної вигоди від запровадження технології «розумного» будинку [85, 98].

Стосовно інших вигод, фінансовий фактор може відігравати провідну або другорядну роль [57, 98]. Зручність користування системою та сумісність системи в деяких випадках можуть переважати зацікавленість фінансовою вигодою. Ці фактори відносяться до зв'язку системи «розумного» будинку з іншими компонентами будинку, які підвищують надійність роботи системи та простоту використання [57, 98].

Потенційні фінансові вигоди також відносяться до вигод, пов'язаних зі здоров'ям, завдяки чому перехід до автоматизованого керування побутовими процесами для забезпечення підтримки здоров'я мешканців може призвести до економії часу та грошей користувачів системи [100]. Відзначаючи зростаючий інтерес до обговорення ефективності витрат на догляд за людьми в домашніх умовах порівняно з традиційною медичною допомогою, дослідження дійшли висновку, що ефективність витрат залежить від стану здоров'я пацієнта та пакету послуг, які він повинен отримати. Цей висновок говорить про те, що фінансова вигода є фактором, що залежить від контексту використання, який може впливати на рішення про переваги використання технології.

Системи «розумних» будинків можуть покращити соціалізацію і навіть допомогти користувачам подолати відчуття ізоляції. Цього можна досягти завдяки впровадженню функцій, пов'язаних із домашнім доглядом. Можливість системи «розумного» будинку допомагати та підтримувати людей у повсякденній діяльності впливає на самосприйняття з точки зору самооцінки, адаптованості та компетентності. Наприклад, користувачі можуть не бажати використовувати допоміжні технології через побоювання, що вони будуть визнаними іншими як слабкі та вразливі люди. Крім того, є побоювання, що системи «розумного» будинку можуть негативно вплинути на їхнє соціальне життя, замінивши реальне спілкування віч-на-віч. Ізоляція від соціальної та фізичної взаємодії може бути наслідком посилення бажання людей похилого віку та користувачів з фізичними обмеженнями бути незалежними від допомоги з використанням систем «розумного» будинку. Вищезгадані результати свідчать про те, що роль систем «розумного» будинку з точки зору фізичної незалежності має як позитивні та негативні сторони.

Деякі дослідники [57] виразили занепокоєння щодо впливу фінансових чинників на соціалізацію користувачів. На думку цих авторів, існує загроза, що лише користувачі з більш високим рівнем доходу можуть отримати користь від систем «розумного» будинку та відчуття «включення» у суспільство власників розкішних і дорогих технологій. Проте, враховуючи швидкий прогрес технологій та орієнтацію виробників

технологій на широкий ринок, очікується, що системи «розумного» будинку з часом стануть доступнішими [62], і це може не стати проблемою в майбутньому.

1.4 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]. Порухення 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.

Юридичні проблеми є каменем спотикання у позитивному сприйнятті систем «розумного» будинку, особливо у галузях медичної та соціальної допомоги. 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.

1.5 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 задовільняють 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.

На основі проведеного аналізу сформовано завдання дисертаційного дослідження.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИМИ СИСТЕМАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ТА АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

2.1 Розроблення моделі ліцензування, розгортання, масштабування та оптимізації навантаження у системах «розумного» будинку за допомогою запровадження хмарних обчислень

Найбільш розповсюдженою моделлю поширення програмного забезпечення є модель ліцензування програмних продуктів. Під ліцензійним програмним забезпеченням розуміється все програмне забезпечення, яке належить будь-якій третій стороні і яке ліцензується та використовується будь-якою іншою компанією чи фізичною особою у веденні власного бізнесу чи особистих потреб [98]. Використання даної моделі надає можливість розробникам програмного забезпечення захистити права на інтелектуальну власність через поширені способи піратства та отримати винагороду за використання їхнього програмного продукту. Для користувачів програмного забезпечення це означає, що за обраний продукт потрібно заплатити кошти для отримання прав на його використання на протязі визначеного терміну дії ліцензії, або безтерміново. Для використання даної моделі у сфері систем «розумних» будинків це є суттєвим негативним фактором, так як ціна за програмний продукт має бути заплачена у повному обсязі без урахування інтенсивності подальшого використання покупцем, включаючи ситуації повної відсутності у необхідності використання програмним продуктом. Прикладами таких ситуацій є зміна напрямку розвитку бізнесу для якого була запроваджена система «розумного» будинку, введення тимчасових карантинних обмежень на відвідування закладів, що використовують прилади інтернету речей для ефективності надання послуг відвідувачам, а також ситуація простою орендних приміщень з встановленими системами енергоефективності в період пошуку нових орендарів. Згідно умов користування більшої ліцензованого програмного

забезпечення права на використання надаються на один екземпляр програмного продукту, що може бути встановлений тільки на один комп'ютер. Це викликає ситуацію, що при потребі використання програмного забезпечення системи «розумного» будинку на іншому обчислювальному пристрої при потребі масштабування системи (побудова нового окремого складу в якому передбачається використання функцій енергозбереження системи) потребує придбання ще однієї копії програмного продукту та використання додаткової повноцінної обчислювальної машини, яка відповідатиме мінімальним технічним вимогам для встановленого екземпляру програмного продукту. Також даний підхід ускладнює можливість використання програмного продукту віддалено у разі відсутності фізично перебувати біля комп'ютера з встановленим ліцензованим програмним забезпеченням. У зв'язку з швидким розвитком технологій сфери «розумного» будинку та виробництвом нових «розумних» побутових приладів та датчиків, програмне забезпечення потребує отримання регулярного оновлення від розробників для забезпечення актуальності функціоналу системи та підтримки механізмів безпеки завдяки усуненню знайдених вразливостей програмного забезпечення. Тривалість правильного та швидкого оновлення більшості встановлених екземплярів програмного забезпечення не задовільняє вимогам до безпеки і надійності функціонування багатьох користувачів систем «розумного» будинку. При розробці систем «розумного» будинку описані проблеми моделі поширення ліцензійного програмного забезпечення пропонується вирішити завдяки запровадженню моделі SaaS (software as a service) [99].

SaaS являється однією з найпопулярніших моделей хмарних обчислень на сьогодні, основною ідеєю якої є те, що користувачам надається готове до використання програмне забезпечення, яке повністю обслуговується провайдером. Провайдер у цій моделі самостійно керує програмним забезпеченням, надаючи користувачам доступ до функцій з клієнтських пристроїв. Основною перевагою моделі SaaS для користувачів являється відсутність затрат на встановлення, оновлення та підтримку роботи програмного забезпечення [8]. З боку розробника така модель надання послуг дає змогу

ефективно боротись з неліцензійним використанням програмного забезпечення, завдяки тому, що користувачі не отримують програмний код системи як такий, а тільки кінцеві точки входу і виходу функцій при інкапсульованій та прихованій реалізації даних функцій, що виконуються на стороні провайдера, котрий надає програмне забезпечення [106]. Також дана концепція дає змогу зменшити затрати на розгортання та інтеграцію технічної частини системи та її підтримки. При використанні моделі SaaS немає авансових витрат, пов'язаних із придбанням програмного продукту, оскільки плата за ліцензію не потрібна. Клієнти не зобов'язані купувати цілий пакет доступного функціоналу, а мають можливість додавати окремі функції, яких дійсно потребують (система безпеки, система моніторингу енергоефективності, пакет підвищення комфорту проживання мешканців, тощо). Якщо користувач потребує програмного забезпечення протягом обмеженого періоду або з декількома функціями, він сплачує лише за певний проміжок часу чи конкретно надану функціональність. Підписки зазвичай можна припинити в будь-який момент. Фінансовий ризик користувачів при використанні запропонованої моделі зменшується до мінімуму. Завдяки запровадженню SaaS є можливість в будь-який час отримати доступ до програмного продукту з будь-яких пристроїв, що мають Інтернет з'єднання, що є корисною можливістю для контролю системою безпеки будинку перебуваючи у відпустці в іншій країні, а також для налаштування побутових приладів та температурного режиму під час дороги додому з роботи. Це збільшує мобільність і оперативність в налаштуванні програмного забезпечення. При використанні хмарного програмного забезпечення, усі оновлення будуть встановлені розробником SaaS централізовано на одному глобальному сервері провайдера (а не на сотнях, або тисячах окремо встановлених екземплярах), що забезпечує більшу швидкість отримання виправлень вразливостей програмного забезпечення [99]. Користувачам системи не потрібно самостійно завантажувати та встановлювати патчі для своїх додатків, це робиться автоматично, що знижує поріг входу технічної обізнаності для користувачів систем «розумного» будинку. Схема моделі поширення програмного забезпечення SaaS зображена на Рисунку 2.1.

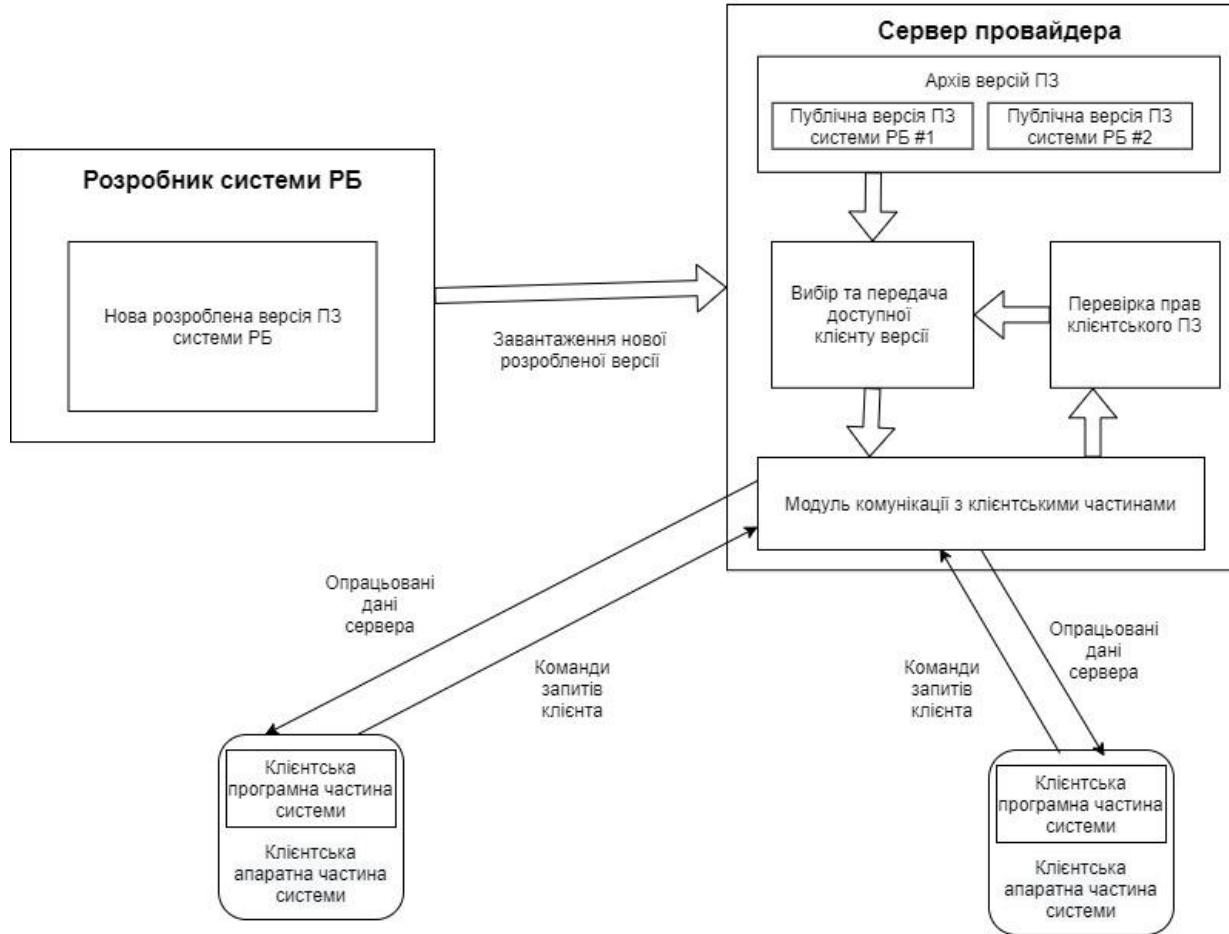


Рис. 2.1. Схема моделі поширення програмного забезпечення SaaS

Важливою перевагою використання моделі SaaS з фінансової точки зору є можливість перенесення «важких» обчислень на технічні потужності серверів провайдера і використання простих дешевих технічних рішень на стороні клієнтів, що застосовуватимуться для передачі вхідних даних та отримання обчислених потужним сервером результатів роботи окремих функцій системи «розумного» будинку [107, 108]. Даний підхід дає можливість суттєво зменшити вартість встановлення систем «розумного» будинку для кінцевих користувачів завдяки скороченню їхніх витрат на апаратне забезпечення системи.

До найпоширеніших функцій «розумного» будинку відносять управління приладами освітлення будинку, включаючи керування окремими групами приладів освітлення, так і керування окремими приладами, встановлення відповідного рівня освітлення в окремих частинах будинку, вмикання/вимикання освітлення в залежності від місцезнаходження мешканців будинку [109]; керування жалюзями та шторами за допомогою електродвигунів в залежності від показників сенсорів руху всередині будинку та показників датчиків зовнішнього освітлення [110]; керування температурним режимом в окремих кімнатах будинку відповідно до вподобань жителів за допомогою керування приладами обігріву, вентиляції та кондиціонування; керування медіа пристроями у будинку, такими як телевізор та акустична система в залежності від присутності жителів у будинку та їхніх вподобань. Також часто до функцій «розумного» будинку включають систему безпеки, що повідомляє про проникнення в дім нерозпізнаних осіб, за допомогою датчиків руху в будинку та камер спостереження з використанням програмного забезпечення розпізнавання облич [111]. Менш поширеними функціями «розумного» будинку є зволоження ґрунту навколо будинку на основі показників вологості ґрунту та пори року, а також управління підігрівом ванни чи басейну та рівня їх наповненості. Важливим питанням при розробці розподіленої системи «розумного» будинку є які саме з існуючих функцій треба виконувати на стороні серверів провайдера послуг, а які виконувати на стороні локального апаратного забезпечення клієнтів [112].

У сфері «розумних» будинків повне перенесення всього функціоналу системи на модель SaaS є недоцільною, у зв'язку з специфікою даної сфери, так як перебої та затримки у інтернет з'єднанні можуть призвести до помилок в отриманні відповідних команд для виконання. Особливо серйозною дана проблема є для функцій охорони, пожежогасіння та моніторингу показників здоров'я мешканців будинку. Побудова систем для «розумного» будинку на основі даної моделі також ускладнюється взаємодією модулів системи, що відповідають за окремі чітко визначені функції, які будуть перенесені для виконання у хмарі і тими, що будуть виконуватись локально на

стороні клієнта. Розподілення функціоналу на дві такі групи відбувається за критеріями важливості отримання швидкого реагування системи. Функціональність, що потребує високої швидкості реагування і не потребує великих технічних ресурсів має виконуватись на клієнтській стороні (збір даних з сенсорів, функції охорони та пожежогасіння, керування приладами будинку). Функціонал, який потребує опрацювання великого об'єму даних, використання алгоритмів машинного навчання для автоматизованого прийняття рішення та не вимагає високої швидкодії (функції регулювання температурним режимом будинку) може бути перенесений на технічну сторону провайдера послуг. При збільшенні об'ємів опрацьовуваних даних, ускладненні внутрішньої логіки функціонування системи та алгоритмів машинного навчання може виникнути потреба у збільшенні обчислювальних ресурсів. Модель SaaS дозволяє легко масштабувати розроблену систему завдяки додаванню нових серверів, що використовуватимуться для розпаралелювання навантаження на обчислювальні ресурси без потреби встановлення додаткового чи нового апаратного забезпечення на стороні користувачів системи «розумного» будинку.

Розподіл функціоналу між клієнтською частиною та технічними потужностями провайдера надає такі переваги, як зменшення навантаження на апаратне забезпечення клієнтської частини системи та доступ провайдера до великих об'ємів реальних даних. Зменшення навантаження на апаратну частину клієнтської частини системи знижує вартість обладнання та сумарну вартість встановлення системи інтелектуального будинку для кінцевого користувача [113]. Базова функціональність, що не вимагає великої технічної потужності може бути реалізована на базі популярних мікрокомп'ютерів, таких як Raspberry PI, Arduino, LattePanda та інших [16, 114], що характеризуються малими габаритами та низькою ціною. Основними вимогами до клієнтського програмного забезпечення є можливість отримання параметрів з сенсорів розміщених у будинку, інтерфейс під'єднання до мережі інтернет та можливість керувати приладами будинку за допомогою бездротових технологій управління.

У свою чергу великі об'єми реальних даних можуть бути використані для покращення аналізу та усунення помилок роботи системи, а також для оптимізації методів машинного навчання, що використовуються для автоматизованого прийняття рішень функціонування системи. Для систем «розумного» будинків такими даними є оптимальні температурні показники у кожній з кімнат будинку, що залежать від параметрів присутності людей у будинку, пори року, часу дня, температури навколишнього середовища. Автоматизоване управління температурним режимом та освітленням системами «розумних» будинків дає змогу налаштовувати параметри термостатів та приладів освітлення базуючись на вподобаннях користувачів без їхньої прямої участі та допомагає суттєво скоротити фінансові витрати на опалення і освітлення завдяки оптимальному використанню ресурсів у тих частинах будинку в яких вони дійсно потрібні, одночасно зберігаючи ці ресурси у непотрібних на даний момент частинах будинку [115]. Дана функціональність ґрунтується на алгоритмах машинного навчання для яких початково потрібні навчальні дані, тому перенесення цих даних на сторону провайдера сприяє покращенню результатів автоматизованого прийняття рішення завдяки навчанню системи на реальних даних. Схема розподілу локальних функцій та функцій у хмарі зображена на Рисунку 2.2.

Розподіл функцій роботи системи «розумного» будинку відбувається за формулою, яка враховує значення параметрів обчислювального навантаження на апаратну частину (всоконавантажена/низьконавантажена), час необхідний для отримання результату обрахунку (термінова/нетермінова), критичність відмови роботи конкретної функції для повноцінної роботи системи (критична/некритична), а також параметр частоти запитів обчислення логіки роботи функції (високочастотна/низькочастотна). Кожен з параметрів представлений коефіцієнтом важливості представлений у Таблиці 2.1.



Рис. 2.2. Схема розподілу локальних функцій та функцій у хмарі

Таблиця 2.1.

Значення змінних та коефіцієнтів важливості параметрів

Назва параметру	Змінна параметру	Коефіцієнт важливості
Навантаження на апаратну частину	X_1	-2
Час необхідний для отримання результату обчислення	X_2	1
Критичність відмови роботи конкретної функції	X_3	1
Частота запитів обчислення	X_4	0.5

Параметри множаться на значення коефіцієнту важливості та сумуються:

$$C = X_1 * (-2) + X_2 * 1 + X_3 * 1 + X_4 * 0.5 \quad (2.1)$$

Якщо отримане значення $C \geq 0$ – функція виконуватиметься на стороні клієнта; у випадку, коли $C < 0$ – функція виконуватиметься на стороні віддаленого сервера.

Ключовим фактором економічної вигоди використання моделі SaaS є можливість масштабованості системи, що базується на даній моделі. Провайдер обслуговує єдине програмне ядро, яке використовують клієнти, тому витрачає меншу кількість ресурсів в порівнянні з управлінням окремими копіями програмного забезпечення для кожного користувача. Крім того, використання єдиного програмного ядра дозволяє оптимізувати використання технічної потужності між користувачами. Це дає змогу суттєво знижувати вартість експлуатації програмного забезпечення, тому вартість послуг для кінцевого користувача такої системи стає нижчою, ніж при використанні класичної моделі ліцензування. Також перевагою використання моделі SaaS у системах «розумного» будинку є швидкість виправлення недоліків програмного забезпечення та вразливостей системи, завдяки тому, що проблема, яка виникла у окремого користувача, буде виправлена у єдиному ядрі, що попередить потенційне виникнення даної проблеми у решти користувачів без потреби у встановленні відповідних оновлень для кожного окремого екземпляру програмного забезпечення встановленого на апаратній частині користувачів. Також при додаванні нового функціоналу до системи, оновлення системи буде доступне одночасно всім користувачам. Комунікація між клієнтами системи та програмним ядром системи відбувається за допомогою шлюзу програмного інтерфейсу (Рисунок 2.3).

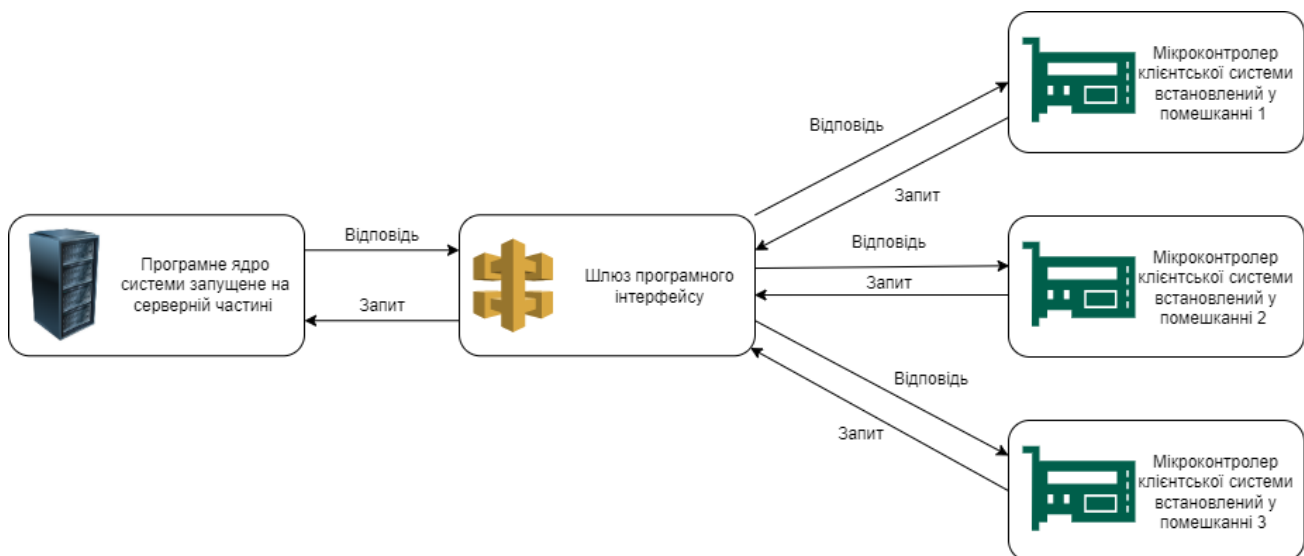


Рис. 2.3. Схема комунікації програмного ядра та клієнтів системи

Можливість централізованого використання даних, що надходять з різних екземплярів систем «розумного» будинку встановлених у різних середовищах, з різними видами активності та рівнем інтенсивності користування системою, суттєво збільшує та урізноманітнює навчальну вибірку для використання алгоритмами машинного навчання, що збільшує точність автоматизованого прийняття рішень у ситуаціях, які не характерні для конкретної системи, але виникала у системах інших користувачів [116].

Поряд з факторами, що підштовхують замовників починати використовувати програмне забезпечення у вигляді сервісу, а розробників – інвестувати ресурси у його створення, існує ряд стримуючих факторів, що обмежує використання даної моделі. Так, як основна економія ресурсів SaaS-провайдерів досягається за рахунок масштабу, SaaS-моделі неефективні для систем, що потребують глибокої індивідуалізації та адаптації під конкретного замовника. Також, багато замовників можуть побоюватись застосовувати SaaS модель з точки зору питання безпеки і потенційного витоку інформації зі сторони постачальника SaaS-послуг. Питання, пов'язані з безпекою, обмежують використання SaaS-моделі в системах, в яких опрацьовується конфіденційна інформація, а системи «розумного» будинку у більшості випадків оперують саме такими даними [117, 118]. Ще одним критичним фактором, що обмежує використання даної моделі є необхідність постійно працюючого підключення до мережі інтернет. Частковим вирішенням цієї проблеми є використання на стороні клієнтів додаткових програмних модулів для автономної роботи, що виконують роль резервного «джерела» прийняття автоматизованих рішень системою, але з спрощеною логікою тільки для забезпечення життєдіяльності роботи системи на короткотривалий час від'єднання від серверів провайдера послуг.

2.2 Розроблення методу ефективного та швидкого опрацювання великих об'ємів даних у системах «розумного» будинку

Системи «розумного» будинку розвиваються з кожним роком і з однієї сторони, зростає рівень інтелектуалізації функцій, а з іншої – її розмірність (кількість складових:

давачів, актюаторів, мікроконтролерів, тощо). Розроблення та аналіз таких систем неможливі без сучасних технологій проектування. Вимоги до систем «розумного» будинку стають все більш високими, у той час, коли розробники систем даного типу змушені керувати все більшою кількістю станів системи в окремі моменти часу роботи [113]. Ці стани можуть включати в себе дані отримані від сенсорів розташованих всередині будинку, збережених історичних даних показників сенсорів, а також інформацію, згенеровану в процесі роботи системи, таку як команди зміни режимів роботи побутових приладів у будинку.

Написання логіки керування станами системи, що часто піддаються змінам – це складна частина процесу розробки систем «розумного» будинку, що вимагає високих часових та фінансових витрат. Якщо значення стану датчика вимагає оновлення режиму роботи побутового приладу у будинку, що у свою чергу може змінити значення стану іншого датчика, який вимагає оновлення режиму роботи іншого побутового приладу у будинку.

Стан системи формується записами параметрів усіх давачів під'єднаних до системи, внутрішніми змінними логіки роботи та значеннями налаштувань приладів, якими система керує. Приклад даних, що відображають стан системи представлений у Таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Дані стану системи

	Назва параметру	Тип параметру	Значення параметру
Значення давачів	Значення детектора руху	Логічний тип (true/false)	TRUE
	Значення датчика температури у будинку	Дійсні числа	21
	Значення датчика зовнішньої температури	Дійсні числа	12

	Значення датчика освітлення	Дійсні числа	150
	Значення датчика відкриття вікна	Логічний тип (true/false)	FALSE
	Значення поточного енергоспоживання	Дійсні числа	1156
Значення приладів	Значення освітлювального приладу	Логічний тип (true/false)	TRUE
	Значення налаштування системи обігріву	Множина $X=\{0,1,2,3,4,5\}$	2
	Значення режиму кондиціонеру	Множина $X=\{0,1,2,3\}$	0
	Значення налаштування аудіо-системи	Множина $X=\{HIGH,MEDIUM,LOW\}$	MEDIUM
	Значення налаштування системи безпеки	Логічний тип (true/false)	FALSE
Значення внутрішніх параметрів	Значення стану роботи системи	Множина $X=\{ON,OFF\}$	ON
	Відсоток пікового завантаження системи	Цілі числа	86

На певному етапі розробки програмного забезпечення «розумного» будинку проектувальники більше не знають, що відбувається у середині логіки роботи системи та більше не можуть контролювати коли, чому і як стани системи оновлюються. Така ситуація, коли робота системи стає непрозорою, несе величезні ризики з точки зору надійності роботи системи, швидкості виявлення і виправлення помилок розробленої логіки та можливості розробляти нову функціональність. Дана складність виникає через те, що змішуються дві різні за сутністю концепції: зміни і асинхронність. Під змінами

вважають потік генерованих у режимі реального часу показників даних датчиків, що розташовані у будинку [119], які впливають на зміни налаштувань побутових приладів у будинку. Під асинхронністю вважається неперіодичність виникнення даних змін показників, тобто зміна параметру датчика відбувається по факту виникнення подій у будинку (рух людини, зміна температури у кімнаті), що не залежать від часових інтервалів та не мають чіткого часового розкладу. Для вирішення даної проблеми пропонується використати архітектурний шаблон Redux з адаптацією його концепцій до сфери розробки систем «розумного» будинку [120, 121].

Проблеми швидкодії роботи систем, що оперують великою кількістю одночасно виникнених подій описуються у роботах [122, 123, 124], що пропонують приклади та порівняння використання монолітної, мікросервісної та багаторівневої архітектур. У сфері розробки візуальних інтерфейсів користувача проблема опрацювання великих масивів подій вирішується за допомогою використання Flux-подібних архітектур, таких як Redux, запровадження яких також розглядається у роботах [125, 126], але розглянуті концепції та приклади обмежені використанням тільки для проектування візуальних інтерфейсів.

Для розроблення високонавантажених та масштабованих систем, до яких належать системи «розумного» будинку використовують різні архітектурні рішення, які спочатку застосовували у системах з інших сфер інформаційних технологій. До таких архітектурних підходів відносять монолітні, мікросервісні, багаторівневі та Flux архітектури [127, 128, 129]. Кожен архітектурний підхід має недоліки та переваги в залежності від специфіки використання інформаційної системи, що відрізняються вимогами до показників швидкодії, надійності та масштабованості. Системи «розумного» будинку характеризуються великою кількістю одночасно виникнених подій, що потребують опрацювання. Для вибору оптимального рішення щодо проектування запропоновано впровадження кожного архітектурного підходу у систему «розумного» будинку, що працює на основі однакової вибірки тестових даних, збір та збереження параметрів швидкодії роботи системи під час використання кожного

розглянутого рішення з подальшим аналізом отриманих результатів та вибором оптимального рішення проектування. Вибір оптимального архітектурного рішення є фінальною стадією процесу перебору декількох архітектурних рішень, з порівнянням параметрів швидкодії роботи системи. Розроблений алгоритм методу проектування архітектурного рішення зображений на Рисунку 2.4.

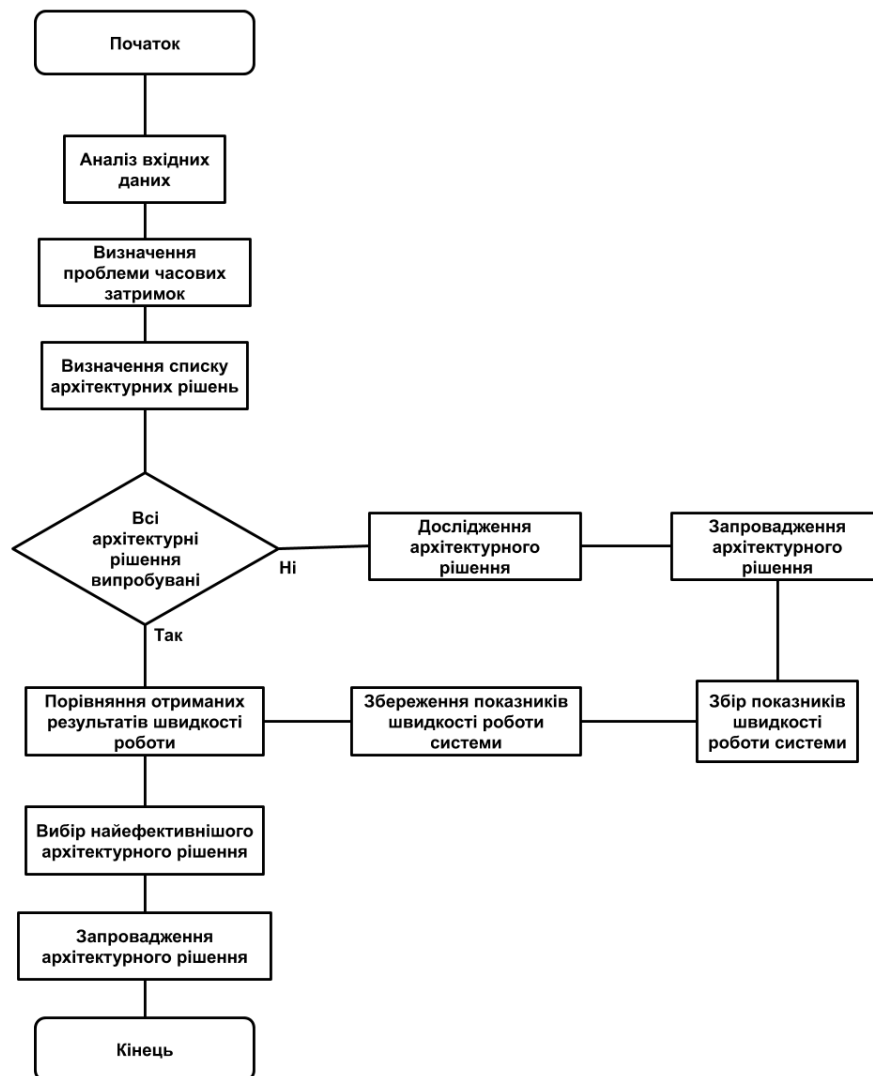


Рис. 2.4. Алгоритм вибору архітектурного рішення в процесі синтезу системи

Найшвидші показники швидкодії роботи системи отримані під час запровадження у системі Flux архітектури, а саме архітектурного шаблону Redux. Найповільніше система працювала при використанні монолітної архітектури.

Redux - це архітектурний шаблон управління станом даних започаткований у сфері розроблення веб-додатків [130]. Він підходить для систем, в яких управління станом може з часом стати складним та заплутаним. Redux не пов'язаний з певним фреймворком, хоча розроблявся для бібліотеки розробки візуальних інтерфейсів React. Redux пропонує зберігати загальний стан параметрів системи в певному місці, названому «сховищем». Компоненти системи (сенсори та побутові прилади) «відправляють» зміни стану параметрів системи в централізоване сховище, а не безпосередньо до інших компонентів. Таке рішення допомагає запобіганню плутанини з джерелами відправки даних та даними відправленими хибним шляхом у зв'язку з підвищенням складності внутрішньої логіки та правил потоків даних у системі під час додавання нового функціоналу системи. Компоненти, які повинні бути в курсі цих змін, «підписуються» на сховище. Сховище може розглядатися як «посередник» у всіх змінах стану параметрів приладів та значень сенсорів у будинку. З Redux компоненти не зв'язуються один з одним безпосередньо, всі зміни повинні пройти через єдине джерело, тобто через сховище. З Redux всі компоненти отримують свої стани зі сховища. Також просто і зрозуміло, куди компонента повинна відправити інформацію про зміну стану – в єдине місце зберігання даних, тобто сховище. Кожен окремий компонент системи тільки ініціює зміну і не піклується про стани інших компонентів системи, які повинні отримати цю зміну.

Отже, розглянутий підхід з використанням архітектурного шаблону опрацювання даних Redux робить потік даних зрозумілим для подальшого опрацювання відповідно до реалізованої логіки програмного забезпечення системи «розумного» будинку.

До базових концепцій архітектурного шаблону Redux відносять події, сховище та редюсер.

Події - це структури, які передають дані у сховище. Вони є єдиними джерелами інформації для сховища. У області розробки «розумних» будинків під подією розуміють структуру даних, що створюється генератором подій у результаті виникнення ситуацій таких як спрацювання датчика чи команди користувача системи. Подія має обов'язковий

стрічковий параметр – унікальну назву події, що ідентифікує конкретну одиницю структури даних у потоці. Прикладом такого параметру може бути «Спрацювання давача руху» при фіксуванні системою руху у вітальні. Також подія може мати другий параметр, що містить додаткову корисну інформацію стосовно події, наприклад час спрацювання датчика руху, тощо. Приклад структури даних події наведений у Таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Приклад структури події

Назва події	Інформація події
«Спрацювання датчика руху»	назваКімнати: “Вітальня”, ідентифікаторКімнати: 003, датаСпрацювання:“19-03-2019”, часСпрацювання: “17:03:15”

Сховище - це об'єкт, який зберігає стан системи, надає доступ до стану системи, має можливість оновлювати стан системи та дає змогу реєструватись у ролі «слухача» оновлення стану системи, щоб отримувати нові параметри стану системи після проведених змін. Redux використовує тільки одне сховище для всього стану параметрів системи. Оскільки стан знаходиться в єдиному місці, його називають єдиним джерелом істини. Структура даних сховища повністю залежить від розробників системи «розумного» будинку, але для реального застосування це, як правило, об'єкт з декількома рівнями вкладеності. Сховище стану системи зберігається у базі даних розробленої системи та не залежить від типу моделі використаної бази даних (реляційна/нереляційна) та ступеню розподіленості (централізована/розподілена). Основною вимогою до сховища є надання стандартизованого інтерфейсу взаємодії, що дозволить отримання всього чи окремої частини параметрів сховища, оновлення стану відповідно до виниклих подій, підписуватись на оновлення стану сховища.

У свою чергу внутрішня структура сховища поділена на окремі частини, що називаються групами. Групи розмежовують дані, що зберігаються у сховищі відповідно

до різних типів даних та логічних груп даних. У системах «розумного» будинку дані поділяються на групи за ознаками приналежності даних до конкретних окремих кімнат системи (усі показники сенсорів та режимів побутових приладів у конкретній кімнаті), або типу збережених даних, таких як дані температур, дані про присутність мешканців будинку, дані поточних режимів побутових приладів та інше.

Сховище даних однієї з розроблюваних систем «розумного» будинку зберігає дані згруповані за групами відповідно до приміщень будинку. Для прикладу візьмемо сховище спроектоване для трьохкімнатного будинку, де існує 5 груп у сховищі даних відповідно до приміщень помешкання з кухнею та санітарним вузлом: вітальня, спальня, кабінет, кухня, санвузол.

Тобто, групою сховища виступає особливість відповідно до окремого приміщення, що зберігає дані стану у конкретному приміщенні. Кожна група містить наступний набір даних:

- температура у приміщенні (Т);
- вологість (Н);
- присутність мешканців у приміщенні (визначається за спрацюванням датчика руху) (М);
- освітлення приміщення (L);
- список присутніх побутових приладів у приміщенні (d_1, d_2, d_3);
- налаштування конкретних побутових приладів ($d_{1s_1}, d_{1s_2}, d_{2s_1}, d_{3s_1}$).

Математично набір даних, що характеризує стан приміщення можна відобразити об'єднанням множин:

$$\{T, H, M, L\} \cup \{d_1, d_2, d_3\} \cup \{d_{1s_1}, d_{1s_2}, d_{2s_1}, d_{3s_1}\}. \quad (2.2)$$

Внутрішня структура сховища даних поділена за групами та зображена на Рисунку 2.5.



Рис. 2.5. Розроблена структура сховища даних

Redux не дозволяє компонентам системи змінювати стан безпосередньо. Події описують, які зміни необхідно зробити у параметрах стану системи. Обробники, які реагують на події і можуть вносити зміни у сховище називають редюсерами. Вхідними параметрами редюсер обов'язково має приймати поточний стан системи, а також подію. Відповідно до типу винесеної події, що має унікальну назву редюсер виконує логічні дії над параметрами отриманого стану та повертає на вихід змінений стан системи. Отримуючи аргументи визначеного типу, редюсер повинен обчислювати нову версію стану і передавати її сховищу даних. Жодних змін поточного стану системи редюсер виконувати не має, що забезпечує чітке розмежування функцій редюсера та сховища даних. Робота редюсера обмежена тільки обчисленням нової версії стану, що перезаписує поточний стан системи у сховищі. Схема життєвого циклу стану системи відображена на Рисунку 2.6.

Отримуючи на вхід виникнену подію, редюсер почергово порівнює тип отриманої події з відомими редюсеру. При співпадінні типів редюсер робить запит поточного стану системи та використовуючи логіку зміни стану системи, що відповідає конкретному типу події проводить зміни параметрів стану. Вихідним результатом є новий стан системи, що зберігається у сховищі даних замінюючи попередній.

Схема трансформації даних на прикладі функціонування системи для підтримки температурного режиму наведена на Рисунку 2.7.

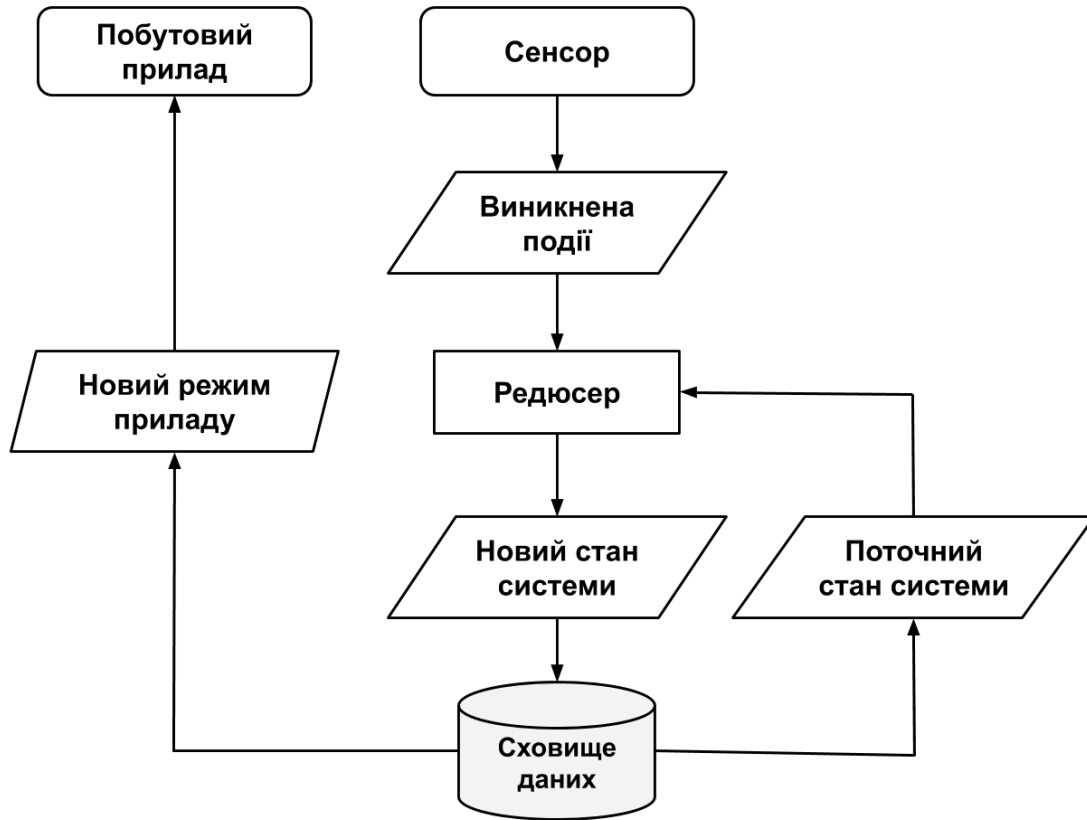


Рис. 2.6. Схема життєвого циклу стану системи «розумного» будинку



Рис. 2.7. Схема трансформації даних

Приклад алгоритму роботи редюсера, логіка якого відповідає за підтримку температурного режиму відповідно до отриманих даних від сенсора температури та за допомогою зміни налаштувань кондиціонера та обігрівача наведена на Рисунку 2.8.

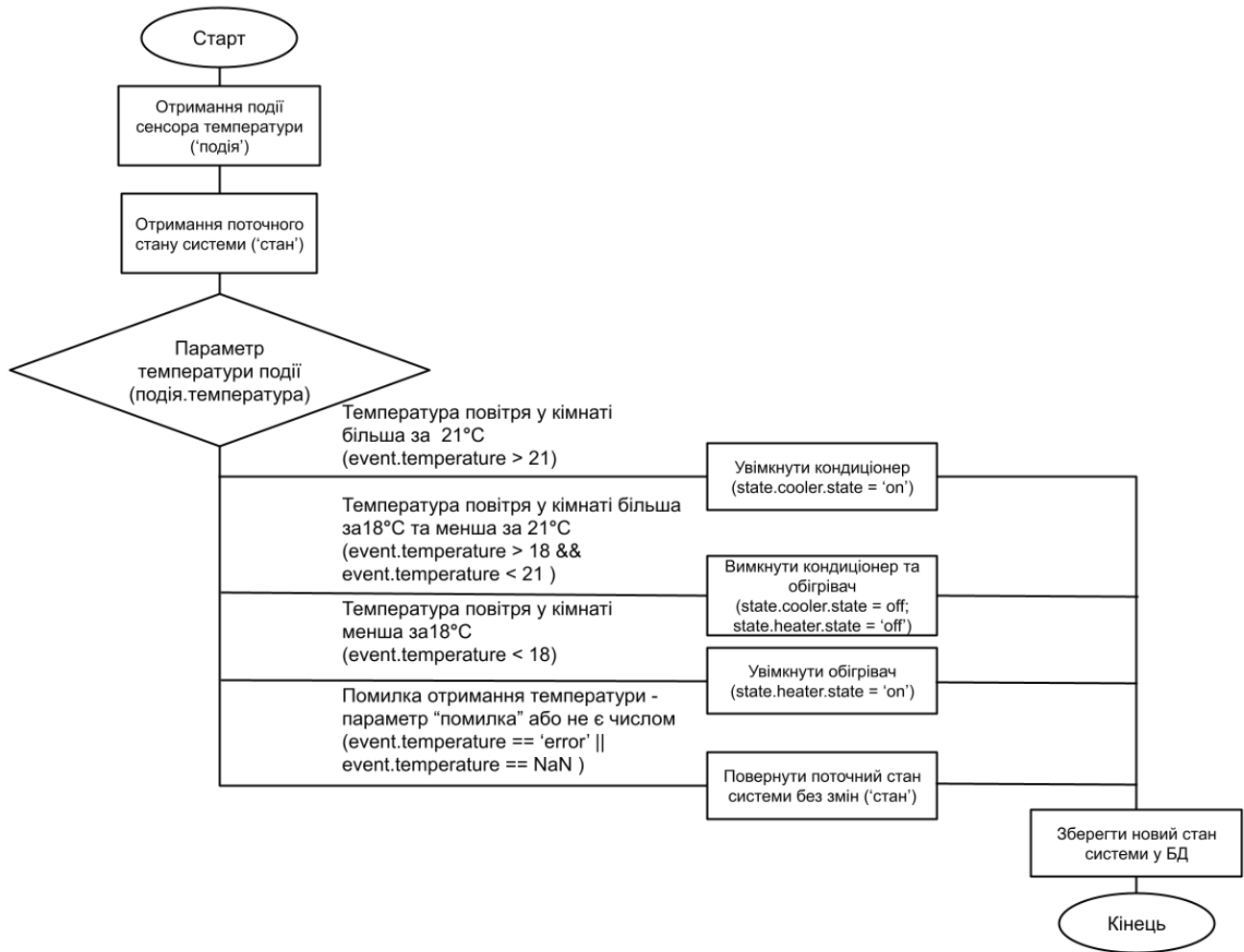


Рис. 2.8. Приклад алгоритму роботи редюсера

Отже, розробка систем «розумного» будинку з адаптацією концепцій архітектурного шаблону Redux, дає змогу ефективно та легко масштабувати систему для використання з більшою кількістю приміщень у будинку, без втрат швидкодії роботи завдяки запровадженню єдиного сховища стану системи та стандартизованого підходу до його зміни незалежно від джерела подій, що виникають у будинку.

2.3 Розроблення методу управління приладами систем «розумного» будинку на основі роботи алгоритмів штучного інтелекту

Однією з головних функцій систем «розумного» будинку є збір даних з сенсорів та давачів під'єднаних до системи, які знаходяться у будинках та квартирах

користувачів. Згенерований потік даних сенсорів та давачів може бути використаний для опрацювання у режимі реального часу, а також у майбутній обробці великих об'ємів даних для прогнозування та моделювання потенційних ситуацій, які вимагатимуть дій зі сторони системи, що допоможе передчасно змінити налаштування системи для швидкого автоматизованого реагування системою на виникаючі ситуації. Під час роботи подібних систем у житлових будинках до таких ситуацій можуть бути віднесені такі як, зміна кількості присутніх користувачів у будинку, зміна кліматичних умов за межами будинку, зміна часу доби, відключення енергопостачання, а також послідовність регулярних дій користувачів системи «розумного» будинку, що вимагає автоматизації змін у налаштуваннях побутових приладів будинку за допомогою алгоритмів закладених у розроблені системи. У розв'язанні задач подібного типу часто використовується алгоритми з використанням штучних нейронних мереж, які у свою чергу поділяються на декілька типів, що застосовуються у різних сферах автоматизації процесів життєдіяльності людини. При створенні комплексного рішення, що працюватиме для автоматизованого налаштування різних побутових приладів у будинку існує проблема вибору оптимального типу штучної нейронної мережі, яка одночасно забезпечить найкращі результати роботи під час налаштування оптимального температурного режиму, режиму освітлення та режиму системи безпеки у будинку. Також, існує потреба обмежити можливість ШНМ змінювати стани системи «розумного» будинку, керуючись системою чітких варіантів змін станів, для забезпечення стабільності роботи системи у разі хибного розрахунку результату під час роботи ШНМ. Для реалізації цього механізму запропоновано представити систему допустимих змін станів за допомогою моделей мереж Петрі. Стани розроблених мереж Петрі відповідають можливим станам системи «розумного» будинку, в той час як активація переходів мережі Петрі відбувається за результатами роботи ШНМ. Таким чином досягається можливість представити налаштування системи «розумного» будинку у вигляді чітко визначеної закритої системи станів, які змінюються за результатами автоматизованого прийняття рішень штучною нейронною мережею.

Однією з найбільш поширених задач, що вирішують системи «розумного» будинку є автоматизація змін налаштувань побутових приладів, що розташовані у помешканні, відповідно до внутрішньої логіки системи, для забезпечення комфортних умов проживання мешканців будинку без безпосереднього їх залучення до керування приладами. Сформовано задачу розробити систему «розумного» будинку з використанням алгоритму на основі штучної нейронної мережі для керування побутовими приладами у будинку та встановленим термостатом для забезпечення оптимального температурного режиму, режиму освітлення та налаштування системи безпеки будинку. Тобто, ціллю є отримати найменше значення похибки (Δx_{\min}) між значеннями параметрів налаштувань приладів у будинку розрахованими з використанням алгоритму машинного навчання ($x_{\text{авт}}$) та очікуваних мешканцями будинку параметрів ($x_{\text{очік}}$). Для розв'язання поставленої задачі було проведено дослідження використання декількох (n) типів штучних нейронних мереж з аналізом та порівнянням бажаних та реально отриманих результатів роботи кожного типу нейронної мережі для автоматизованого керування режимами термостату, освітлювальних приладів та сигналізації окремо для кожної з поставлених задач:

$$\Delta x_{\min} = \frac{\sum_0^n |x(\text{авт}) - x(\text{очік})|}{n} \quad (2.3)$$

При проведенні дослідження був вибраний набір історичних даних, що складається з записів параметрів сенсорів та приладів у будинку з двома приміщеннями. Для проведення процесу навчання різних типів нейронних мереж використовувалась ідентична навчальна вибірка. Такий підхід виключає вплив на результати роботи алгоритму штучної нейронної мережі специфіки даних, що використовувались у процесі тренування. Навчальна вибірка містить інформацію про налаштування термостатів ($^{\circ}\text{C}$) у приміщеннях, стани освітлювальних приладів (увімкнено/вимкнено) в кожному з приміщень окремо, налаштування системи безпеки (вкл/викл сигналізація) для всього будинку, інформацію про присутність жителів будинку (показники давачів руху) в кожному приміщенні окремо та часові мітки моменту збереження даних налаштувань

(мс. у Linux форматі). Приклад формату даних у навчальній вибірці наведений у Таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

Фрагмент даних навчальної вибірки

Часова мітка	Присутність людей у кімнаті 1	Присутність людей у кімнаті 2	Освітлення у кімнаті 1	Освітлення у кімнаті 2	Темп. режим у кім.1	Темп. режим у кім.2	Режим сигн.
1567519042	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	21	18	FALSE
1567523065	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	20	18	FALSE
1567535088	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	20	20	FALSE
1567560523	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	22	21	TRUE
...

Для навчання різних типів штучних нейронних мереж, що застосовуватимуться для розв'язання поставлених задач, навчальна вибірка поділяється на параметри, які слугуватимуть вхідними даними, які подаватимуться на вхід нейронної мережі та параметри, які слугуватимуть вихідними даними, що мають бути результатом роботи нейронної мережі відповідно до вхідних параметрів. Наприклад, за допомогою параметрів присутності людей у кімнаті, увімкнених чи вимкнених освітлювальних приладах у кімнатах, значення пори року та часу доби можна визначити оптимальне значення налаштувань системи клімат-контролю.

З набору історичних даних, випадково вибираються декілька записів, які видаляються з набору та не приймають участі у навчальній вибірці, а використовуються для порівняння вихідних параметрів отриманих у результаті роботи навченої нейронної мережі та розрахунку значення похибок між отриманими та очікуваними значеннями вихідних параметрів. Видалення даних записів з набору навчальної вибірки запобігає появі ситуації, коли нейронна мережа завчить вхідні та відповідні їм вихідні параметри записів та повертатиме вихідні параметри з пам'яті, а не керуючись значеннями вагових

коефіцієнтів, що призведе до хибних результатів роботи нейронної мережі при подачі на вхід значень параметрів, які не були присутні у навчальній вибірці.

Сформовані тестові вибірки використовуватимуться для навчання алгоритмів штучної нейронної мережі різних типів для автоматизації процесу керування побутовими приладами «розумного» будинку та встановленим термостатом для забезпечення оптимального температурного режиму, режиму освітлення та налаштування системи безпеки будинку.

Ефективність роботи алгоритму штучної нейронної мережі залежить від її типу та внутрішньої структури, відповідно до задач різної специфіки. Наприклад, для розв'язання задач розпізнавання образів на зображеннях та відеопотоці ефективно використовувати згорткові нейронні мережі, а для перекладу текстів, або програмування ботів, що ведуть діалоги з людиною оптимальним вибором є рекурентні нейронні мережі. Тому, постає питання вибору оптимальної структури штучної нейронної мережі, яка буде використана для автоматизації керування температурним режимом, системою безпеки та освітленням у будинку. Початковим етапом вибору структури штучної нейронної мережі є створення списку відомих типів штучних нейронних мереж. До такого списку у розглянутому прикладі відносяться: Нейронна мережа прямого поширення; Рекурентна нейронна мережа; Довга короткочасна пам'ять; Вентильний рекурентний вузол. Наступним кроком методу є генерування навчальної вибірки, що використовуватиметься для навчання штучних нейронних мереж розглянутих типів. Навчальна вибірка генерується шляхом відкидання п'ятьох записів, що утворюють тестову вибірку, яка буде використовуватись в подальшому для розрахунку помилки роботи алгоритму штучної нейронної мережі в порівнянні з очікуваними даними. Наступним етапом методу є послідовне навчання та використання кожного з типів штучної нейронної мережі та аналізу отриманих результатів. Вибравши черговий тип штучної нейронної мережі проводиться процес навчання за допомогою створеної навчальної вибірки. Далі відбувається запуск навченої штучної нейронної мережі з подачею на вхід параметрів тестової вибірки та збереженням отриманих вихідних

результатів. Для кожного вихідного параметру розраховується значення похибки за допомогою порівняння отриманого значення відповідного параметра тестової вибірки. Серед отриманих значень похибок кожного вихідного параметра розраховується середнє значення, що є загальним значенням похибки використання конкретного типу штучної нейронної мережі для розв'язання поставлених задач. Після розрахунку середнього значення похибки, це значення порівнюється з найменшим отриманим середнім значенням похибки попередньо розглянутих типів штучної нейронної мережі. У разі якщо дане значення є меншим за попереднє - поточна штучна нейронна мережа зберігається як найоптимальніша для розв'язання поставленої задачі, а середнє значення похибки зберігається як найоптимальніше на конкретний момент дослідження. Процес навчання, запуску та аналізу вихідних результатів роботи штучної нейронної мережі послідовно проводиться для кожного типу штучної нейронної мережі зі списку, поки не буде проаналізовано всі типи.

У представленому дослідженні побудований метод пошуку оптимального типу штучної нейронної мережі за допомогою відповідних навчальних та тестових вибірок послідовно застосовувався для розв'язання задач автоматизованого керування температурним режимом, режимом освітлення та налаштуваннями систем безпеки. Перевагою розробленого методу є використання єдиного набору історичних даних для формування навчальної та тестової вибірок за допомогою комбінування вхідних та вихідних параметрів для кожної поставленої задачі, що виключає вплив на результати роботи алгоритму штучної нейронної мережі специфіки даних, які використовувались у процесі тренування. Алгоритм пошуку оптимального типу штучної нейронної мережі зображений на Рисунку 2.9.



Рис. 2.9. Алгоритм методу вибору оптимального типу нейронної мережі

Традиційні алгоритми навчання нейронної мережі (наприклад, алгоритм зворотного поширення помилки) основані на знаходженні найкращих коефіцієнтів зв'язків цієї мережі при її фіксованій структурі. Проблема вибору відповідної структури нейронної мережі при такому підході лежить на плечах розробника і багато в чому

визначає наперед успішність побудови моделі. Крім цього, сама по собі проблема підбору структури мережі є вкрай складною. Для спрощення побудови нейронних мереж на даний час існує багато методів і алгоритмів. Всі вони можуть бути розділені на дві групи: методи та алгоритми нарощування структури мережі і методи та алгоритми спрощення структури мережі. Методи спрощення структури мережі є більш формалізованими, проте вони пов'язані зі свідомо великими витратами ресурсів на навчання початкових структур нейронних мереж. Алгоритми нарощування структури мережі, як правило, спираються на емпіричні дані про поліпшення ступеня навчання нейронної мережі при нарощуванні її структури. Існують алгоритми нарощування структури нейронної мережі, засновані на одночасному обмеженні числа прихованих шарів мережі та послідовному заповненні прихованих шарів мережі нейронами до стану насичення, тобто такого, коли при додаванні нового нейрона в даний шар, помилка роботи навченої нейронної мережі практично перестає зменшуватися. У таких алгоритмах відсутня жорстка фіксація числа прихованих шарів, однак їх кількість можна обмежити двома внутрішніми шарами з огляду на те, що теоретично доведена достатність одного внутрішнього шару, а також існує твердження про оптимальну кількість прихованих шарів, що дорівнює двом. Зауважимо, що використання нейронних мереж з великою кількістю внутрішніх шарів може привести до отримання задовільних результатів навчання мережі при менших її розмірах в деяких окремих конкретних прикладах, але не може істотно вплинути на рівень помилки роботи навченої мережі при відсутності жорстких обмежень на її розмір. На основі цього твердження можна побудувати алгоритм адаптації структури нейронної мережі, який буде володіти рядом переваг: знаходити оптимальне число внутрішніх прихованих шарів нейронної мережі, а також оптимальне число нейронів на кожному внутрішньому шарі; враховувати можливість зміни значення рівня насиченості прихованих шарів нейронної мережі при нарощенні структури інших прихованих шарів; на кожному кроці нарощування структури нейронної мережі мати оптимальну структуру з найкращим набором

внутрішніх прихованих шарів та кількостей їхніх нейронів, що забезпечить широкий вибір критеріїв зупинки процесу адаптації структури мережі.

Даний алгоритм можна розглядати як генетичний, тому що процес копіювання нейронної мережі являє собою механізм успадкування, етап різної модифікації кожної нейронної мережі - механізм мутації, а подальший вибір найкращої нейронної мережі - механізм відбору. Єдиним накладеним додатковим обмеженням на розмір нейронної мережі, крім тих, що входять в критерій зупинки навчання є обмеження на максимальну кількість нейронів на внутрішньому шарі, що встановлюється значенням, яке на одиницю менше подвоєної кількості нейронів на вхідному шарі.

У розробленому алгоритмі для зручності розробки нейрони штучної нейронної мережі представлені у вигляді двовимірної матриці та позначаються відповідно коду X.Y, де X – порядковий номер прихованого шару, а Y – порядковий номер нейрону. Приклад структури штучної нейронної мережі з трьома прихованими шарами та трьома нейронами на кожному шарі з відповідним маркуванням наведений на Рисунку 2.10.

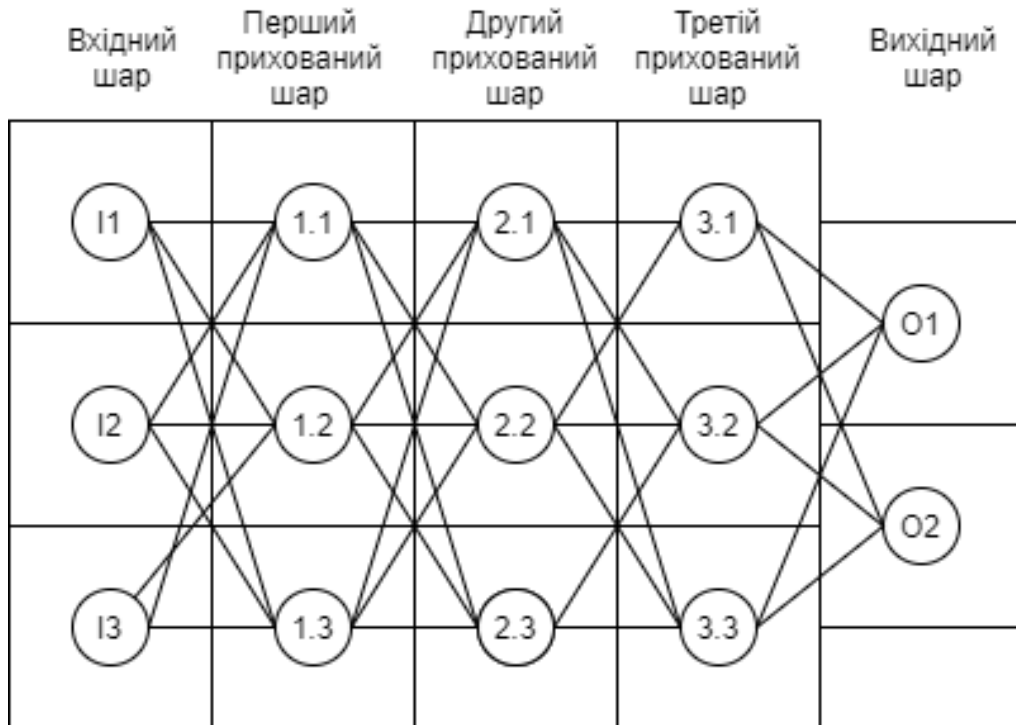


Рис. 2.10. Структура штучної нейронної мережі з відповідним маркуванням нейронів

Вибрана початкова структура нейронної мережі визначає подальші можливості розвитку та адаптації структури мережі в рамках даного алгоритму: найбільш важливими характеристиками є кількість внутрішніх шарів мережі і наявність або відсутність зв'язків між нейронами. Алгоритм може почати працювати з будь-якою початковою структурою багат шарового персептрона, однак початкова мережа міститиме наступну структуру: мережа містить один прихований шар, що містить один нейрон. Будь яка створена на наступних кроках мережа буде повною, тобто кожен нейрон i -го шару пов'язаний з усіма нейронами $(i + 1)$ -го і $(i - 1)$ -го шарів. Критерій закінчення навчання може бути як абсолютним (подолання рівня помилки мережі деякого порогового значення), так і відносним (зменшення помилки мережі при нарощуванні структури мережі припинилося або сповільнилося). Крім цього, не можна забувати про обмеження на розмір нейронної мережі, не пов'язаних з рівнем її помилки - ці обмеження визначаються наявними обчислювальними потужностями і розміром навчальної вибірки.

Наступний крок визначає всі можливі конфігурації структури прихованих шарів штучної нейронної мережі, що задовільняють обмеженням кількості нейронів на прихованих шарах. Відповідно створеним конфігураціям створюються екземпляри штучних нейронних мереж.

Далі, відбувається процес тренування кожної створеної штучної нейронної мережі.

Наступним кроком алгоритму для вибору найкращої по результативності структури нейронної мережі є порівняння їх помилок роботи. Мережа з найменшою помилкою зберігається. Таким чином, модифікація, яка привела до найбільшого поліпшення функціонування нейронної мережі, приймається за її «базову» структуру.

Наступний крок визначає всі можливі конфігурації структури прихованих шарів штучної нейронної мережі з додаванням додаткового прихованого шару з кількістю нейронів, що задовільняє обмеженням кількості нейронів на прихованих шарах.

Далі, відбувається процес тренування кожної створеної штучної нейронної мережі з додатковим прихованим шаром.

Наступним кроком алгоритму для вибору найкращої по результативності нейронної мережі є порівняння їх помилок роботи. Якщо з створених на останньому кроці штучних нейронних мереж існує така, похибка вихідних результатів якої є нижчою, то вона приймається як «базова» структура і процес пошуку оптимальної структури продовжується починаючи з першого кроку алгоритму, але з новою «базовою» структурою.

Процес пошуку оптимальної структури закінчується при ситуації, коли додавання додаткового прихованого шару не створює ситуацію зменшення похибки вихідних даних мережі. «Базова» структура штучної нейронної мережі, що збережена у цей момент приймається як найефективніша структура мережі.

Розглянутий процес пошуку оптимальної структури прихованих шарів ШНМ можна представити детально за допомогою семи кроків:

Крок 1. Визначаємо змінні кількості прихованих шарів штучної нейронної мережі (L), кількості нейронів на кожному шарі (N_L) та їхні початкові поточні значення:

$$L = 1 \quad (2.4)$$

$$N_L = 1 \quad (2.5)$$

Крок 2. Процес тренування штучної нейронної мережі з внутрішньою структурою нейронів, що відповідає поточним значенням кількості прихованих шарів штучної нейронної мережі L , кількості нейронів на кожному шарі N_L .

Реалізована штучна нейронна мережа базується на використанні бібліотеки TensorFlow.js, що реалізує програмну платформу для створення моделей машинного навчання TensorFlow на мові програмування JavaScript та запущена на платформі NodeJS.

Бібліотека TensorFlow.js дозволяє налаштовувати параметри процесу навчання створеної ШНМ, такі як допустимий поріг помилки для навчальної вибірки, максимальна кількість ітерацій навчання та інші. Для розроблюваної системи

допустимим порогом помилки встановлено 0.015 (1.5%), а максимальною кількістю ітерацій навчання 20 000.

Крок 3. Перевірка результатів роботи ШНМ:

3.1. Запуск алгоритму ШНМ на тестовій вибірці, коли на вхід подається значення реальних історичних даних (X_r) та отримуються розраховані алгоритмом результуючі параметри (Y_{calc})

3.2. Розрахунок % помилки (ΔY) для кожного вихідного параметру (значень енергоспоживання та часу роботи):

$$\Delta Y_i = | Y_{calc}^i - Y_r^i | / Y_r^i \quad (2.6)$$

де, i – порядковий номер параметру, Y_r^i – значення параметру з тестової вибірки, Y_{calc}^i – значення вихідного параметру розрахованого алгоритмом.

3.3. Значенням помилки роботи алгоритму штучної нейронної мережі з поточною структурою прихованих шарів (ΔY_{struct}) вважатимемо середнє арифметичне значення помилок отриманих для кожного окремого параметру:

$$\Delta Y_{struct} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i}{n} \quad (2.7)$$

де, n – кількість вихідних параметрів, i – порядковий номер параметру, ΔY_i – відсоткове значення помилки розрахованого для поточного параметру.

Крок 4. Ранжування створених структур за ефективністю роботи.

Створену структуру прихованих шарів штучної нейронної мережі додаємо у список попередньо створених структур з поточною кількістю прихованих шарів (L), відсортований за значеннями помилки роботи алгоритму починаючи від найменшого.

Крок 5. Перевірка умови додавання нового нейрону до поточного прихованого шару.

Якщо значення помилки створеної структури не було менше значення третьої за списком попередньо створених структур на протязі останніх п'яти ітерацій – переходимо до наступного кроку алгоритму (Крок 6). Інакше, додаємо до поточного прихованого шару (L_i) додатковий нейрон:

$$N_L = N_L + 1 \quad (2.8)$$

де, N_L – кількість нейронів на прихованому шарі L .

Після додавання додаткового нейрону у останній шар ШНМ, вертаємось до Кроку 2 алгоритму, тобто до тренування ШНМ з новоствореною структурою прихованих шарів.

Крок 6. Перевірка умови завершення роботи алгоритму.

Структуру з найменшим значенням помилки серед списку структур з поточною кількістю прихованих шарів (L) додаємо у загальний список створених найоптимальніших структур, відсортований за значеннями помилки роботи алгоритму починаючи від найменшого.

Якщо значення помилки доданої у список структури не було менше значення третьої за списком з попередньо доданих структур на протязі останніх п'яти ітерацій – завершуємо алгоритм пошуку оптимальної внутрішньої структури ШНМ. За найефективнішу структуру вважається перша у списку структура з найменшим середньоарифметичним значенням похибки всіх автоматизовано визначених вихідних параметрів штучної нейронної мережі. Інакше, переходимо до Кроку 7 алгоритму для збільшення кількості прихованих шарів штучної нейронної мережі.

Крок 7. Визначення кількості прихованих шарів структури ШНМ наступного циклу.

Додаємо до найефективнішої створеної на поточний момент структури штучної нейронної мережі додатковий прихований шар з одним нейроном:

$$L = L + 1 , \quad (2.9)$$

$$N_L = 1 . \quad (2.10)$$

Після додавання додаткового прихованого шару ШНМ з одним початковим нейроном, вертаємось до Кроку 2 алгоритму, тобто до тренування ШНМ з новоствореною структурою прихованих шарів.

Описаний алгоритм пошуку оптимальної структури прихованих шарів штучної нейронної мережі зображений на Рисунку 2.11.

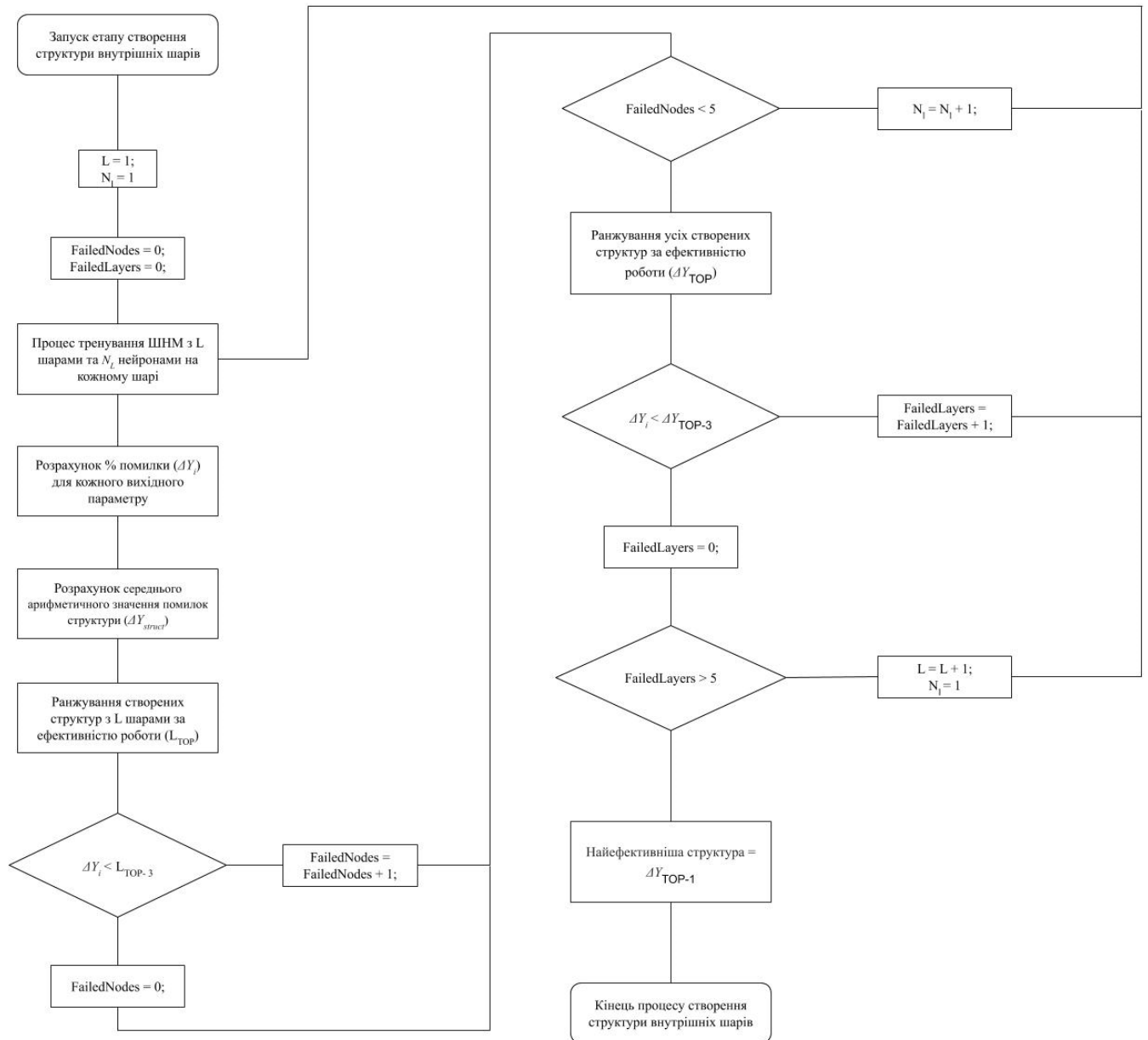


Рис. 2.11. Алгоритм пошуку найефективнішої структури внутрішніх шарів штучної нейронної мережі

2.4 Розроблення моделі управління приладами систем «розумного» будинку за допомогою синтезу алгоритму штучної нейронної мережі та мереж Петрі

Організація управління складними технічними системами передбачає, як правило, використання імітаційних моделей, які дозволяють попередньо досліджувати систему і виявляти її основні властивості. Використання імітаційних моделей в системах управління обмежується недостатньою гнучкістю мереж Петрі та їх нездатністю швидко

враховувати умови зовнішнього середовища, які швидко змінюються. Типовий метод оптимізації використання пріоритетів операцій не дозволяє досить ефективно управляти імітацією мережі. Виходячи з цього, розробка нових методів оптимізації систем, представлених мережами Петрі, на сьогоднішній день являється актуальним науковим і практичним завданням.

Мережі Петрі є зручним і досить універсальним засобом представлення технічних систем. Це проявляється зокрема в тому, що вони дозволяють формувати моделі з необхідним ступенем деталізації. Тобто, для опису роботи системи «розумного» будинку в цілому можна використати узагальнену мережу Петрі, а для складних імітаційних процесів окремих приміщень будинку застосовуватимемо деталізовані мережі Петрі, що застосовуються тільки у імітації процесів в межах окремо взятих приміщень.

Кожна окрема підсистема "розумного" будинку, логіка якої створена на підставі роботи мережі Петрі, за допомогою дій системи (зміни режимів роботи побутових приладів) у наслідок спрацювання переходів та зміни станів системи (налаштувань оптимальної температури, налаштувань освітлення, тощо) відповідно до станів міток мережі Петрі реалізовується у вигляді мікросервісу будь-якого провайдера хмарних обчислень, що надає послуги "безсерверних" функцій.

В найпростішому випадку модель системи можна подати простою мережею Петрі:

$$M_{system} = (S, P, F, M_0),$$

де S – множина позицій, P – множина переходів, F – множина вхідних та вихідних дуг і M_0 – початкове маркування.

Оптимізація процесів в розроблюваній системі містить у своїй основі узгоджену зміну станів приладів під'єднаних до системи «розумного» будинку у відповідності до дій мешканців будинку та незалежних подій. Для покращення результатів роботи розробленої системи пропонується доповнити мережу Петрі механізмом прийняття рішень на основі алгоритму штучної нейронної мережі, яка дозволить приймати рішення про вибір переходів мережі, що мають бути активованими у відповідь на виникнену

подію чи зміну параметрів системи. Правила роботи нейронної мережі передбачається закласти на етапі навчання перед імітацією роботи системи з використанням мережі Петрі.

Емпірично доведено, що застосування алгоритму штучної нейронної мережі в задачах класифікації та розпізнавання дає дуже хороші результати. Поставлене для вирішення завдання по суті є аналогічним, так як штучна нейромережа фактично повинна класифікувати стан (маркування мережі або інші змінні), що подаються на її вхід. Це дозволяє отримувати прогнозовані та очікувані результати застосування алгоритму штучної нейронної мережі для даного завдання.

Оптимізація функціонування систем «розумного» будинку може здійснюватися за різними критеріями. Найбільш часто використовуваними критеріями є: мінімізація споживання електроенергії приладами будинку, мінімізація енерговитрат на опалення та вентиляцію для підвищення показників енергоефективності будинку, максимізація точності спрацювання системи безпеки та інші.

Точність спрацювання підсистем можна представити функцією корисності $u(x)$, де x – вектор альтернативних налаштувань системи, що є елементом допустимої множини X . Завдання полягає в максимізації результату спрацювання функції точності роботи підсистем:

$$\begin{cases} u(x) \rightarrow \max_x \\ x \in X \end{cases} \quad (2.12)$$

Вибір критерію ефективності здійснюється індивідуально для кожної конкретної системи «розумного» будинку за результатами аналізу його економічних, енергоефективних і технічних особливостей. У якості критерія ефективності найбільш часто використовують мінімізацію споживання електроенергії приладами будинку. Нехай x – вектор базових налаштувань приладів, що задовільняють мінімальний рівень комфорту користувачів, що є елементом допустимої множини X , u – функція, якою можна розрахувати рівень комфорту мешканців, h – набір налаштувань приладів, що надає рівень комфорту не менше ніж базовий. Завдання полягає у мінімізації

налаштувань режимів роботи приладів, при умові що рівень комфорту буде не меншим ніж при базовому наборі налаштувань:

$$\begin{cases} ph \rightarrow \min_h \\ u(h) \geq u(x) . \\ h \in X \end{cases} \quad (2.13)$$

Обмеженнями розв'язуваної поставленої задачі оптимізації є кількість приладів у будинку та кількість користувачів системою «розумного» будинку.

Важливість кожного з критеріїв поданого у навчальних прикладах повинна бути врахована в значеннях вхідних даних. Беручи до уваги вищезазначене, для розв'язання поставленої задачі має вибиратися такий тип штучної нейронної мережі, який передбачає навчання з вчителем.

На сьогоднішній день теорія штучних нейронних мереж є досить розвиненою. Для вирішення різних завдань розроблені різні типи нейромереж. Тому, першим кроком є вибір типу нейромережі. Для розв'язання поставленої задачі виберемо найбільш поширений тип штучної нейронної мережі - багатошаровий перцептрон. Формування структури штучної нейронної мережі є складним та ітераційним завданням.

Нейромережа містить вхідний шар, вихідний і чотири приховані шари. Приховані шари істотно покращують властивості нейронної мережі. Кількість нейронів вхідного шару відповідає числу чинників, що впливають на зміну стану системи, такі як рух, температура, а також значення дати та години. Кількість нейронів у вихідному шарі дорівнює кількості переходів мережі Петрі, які управляються нейромережею.

Робота системи «розумного» будинку з використанням комбінованого підходу використання мереж Петрі та алгоритму штучної нейронної мережі виглядає наступним чином. При зміні стану системи (спрацювання датчиків руху, зміна температури, тощо) штучна нейронна мережа отримує на вхід поточні параметри системи. Базуючись на внутрішній логіці роботи системи, яка сформована під час процесу навчання на історичній вибірці даних, алгоритм приймає рішення про потребу активації відповідних переходів мережі Петрі. Дані переходів мережі Петрі, що мають бути активованими

поступають на вихідний шар штучної нейронної мережі. Після активації отриманих у результаті роботи алгоритму ШНМ переходів відбуваються зміни станів приладів у будинку відповідно до створеної попередньо імітаційної моделі кожної окремої мережі Петрі, що відповідають за окремі функціональні вимоги та окремі приміщення будинку. Покроково процес трансформації даних від датчиків до зміни станів приладів у будинку зображений на Рисунку 2.12.

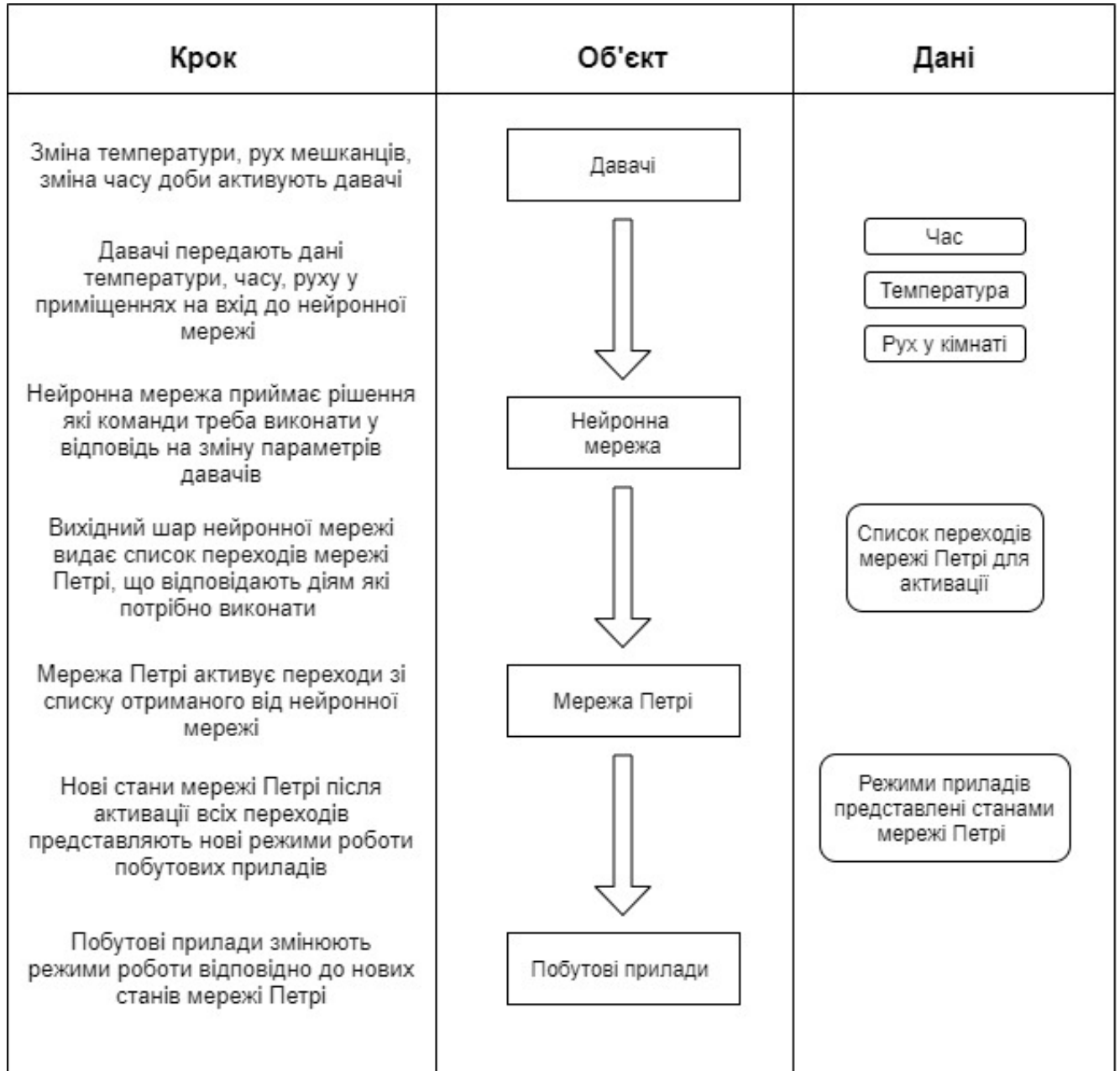


Рис. 2.12. Схема процесу зміни станів приладів у відповідь на зміну значень датчиків

Для дослідження ефективності запровадження запропонованого комбінованого підходу використання мереж Петрі та алгоритму штучної нейронної мережі використовується метод порівняння історичних даних показників споживання електроенергії приладами будинку, до запровадження системи (зміни налаштувань приладів відбуваються мешканцями будинку у ручному режимі) та після запровадження системи (зміни налаштувань приладів відбуваються автоматизовано згідно розробленої внутрішньої логіки системи).

2.5 Розроблення алгоритмів роботи системи «розумного» будинку з використанням технологій хмарних обчислень, мереж Петрі та алгоритмів штучного інтелекту.

При розробці алгоритмів роботи системи та послідовності активностей системи потрібно враховувати різну специфіку використання системи, що розроблюється. Має бути взята до уваги можливість використовувати розроблену систему у різних сферах життєдіяльності людини без кардинальних змін основної структури системи. Тому перед початком розробки алгоритмів роботи системи потрібно чітко сформулювати потенційні сфери використання розроблюваної системи з конкретними функціями, які вона має виконувати. Цей підхід дасть змогу створити універсальну структуру з єдиним ядром системи, яке матиме змогу легко налаштовуватися, додавати чи видаляти окремі модулі та функції, в залежності від потреб сфери використання. До найпопулярніших сфер використання систем «розумного» будинку відносять наступні: використання у приватних житлових будинках, лікарнях, гуртожитках, складах. Основними функціями системи «розумного» будинку запровадженому у житловому приватному помешканні є керування системою медіа-розваг, керування освітлювальними приладами, регулювання температурного режиму у приміщеннях помешкання, контроль системи безпеки. Для системи «розумного» будинку запровадженою у лікарнях основними функціями є моніторинг процесів життєдіяльності пацієнтів, керування освітлювальними приладами в палатах та

коридорах, регулювання температурного режиму у приміщеннях лікарні. Під час використання даних систем у гуртожитках основними потребами для запровадження систем “розумного” будинку є можливість налаштувати автоматизований моніторинг енергоефективності, керування освітлювальними приладами, регулювання температурного режиму у кімнатах. Під час запровадження системи “розумного” будинку на складських приміщеннях до основних функцій відносять контроль доступу по перепустках, керування освітлювальними приладами та регулювання температурного режиму у зонах складу.

Таблиця 2.5. Популярні сфери використання систем «розумного» будинку та відповідні їм функції

Сфера використання	Функції
Житловий приватний будинок	<ul style="list-style-type: none"> - Керування системою медіа-розваг - Керування освітленням - Регулювання температури - Система безпеки
Лікарня	<ul style="list-style-type: none"> - Моніторинг процесів життєдіяльності пацієнтів - Керування освітленням - Регулювання температури
Гуртожиток	<ul style="list-style-type: none"> - Моніторинг енергоефективності - Керування освітленням - Регулювання температури
Склад	<ul style="list-style-type: none"> - Контроль доступу по перепустках - Керування освітленням - Регулювання температури - Система безпеки

Легка можливість комбінування функцій в залежності від специфіки використання без суттєвої переробки системи в цілому реалізується за допомогою розробки модульної архітектури системи та поєднання модулів системи в залежності від конкретних потреб.

Набір основних функцій можна скласти проаналізувавши потреби, активності та функції ключових вузлів системи та користувачів. Взаємодія ключових вузлів та функцій при виконанні поставлених перед системою завдань відображається на діаграмі прецедентів (Рисунок 2.13).

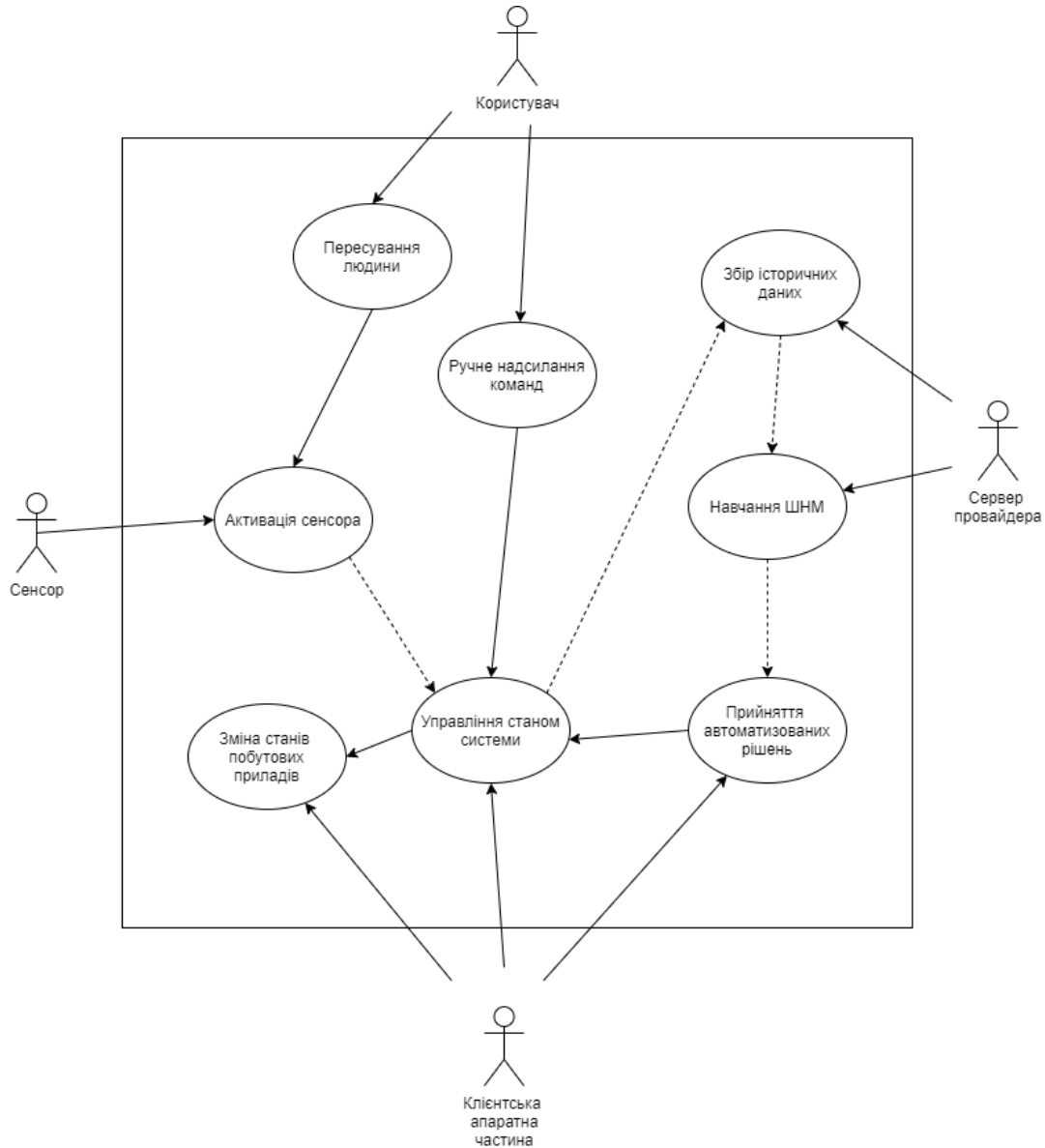


Рис. 2.13. Діаграма прецедентів роботи системи

Користувачі системи мають можливість ручного надсилання команд. Також рух у приміщеннях користувачів системи активує сенсори, що в свою чергу передають зафіксовані значення клієнтському контроллеру. Контроллер відповідає за управління станом системи в залежності від отриманих даних від сенсора та результатами

автоматизованого прийняття рішень щодо потреби зміни станів побутових приладів. Клієнтська апаратна частина комунікує з сервером провайдера, який у свою чергу виконує функцію збору історичних даних отриманих від сенсорів у помешканні, а також виконує процес навчання моделей штучної нейронної мережі, які згодом використовуватимуться клієнтською апаратною частиною.

У загальному випадку алгоритм роботи системи виглядає наступним чином. Після зміни стану сенсора у приміщеннях помешкання відбувається надсилання даного значення від датчика до клієнтської частини системи. Модуль клієнтської частини, що відповідає за аналого-цифрове перетворення значень датчиків перетворює значення згенерованих сенсором у цифровий вигляд. На основі отриманого значення запускається процес прийняття рішення зміни стану налаштування системи за допомогою використання моделі штучної нейронної мережі або внутрішніх алгоритмів “якщо-тоді”. Потреба у застосуванні алгоритмів штучного інтелекту визначається складністю задачі. Для легких завдань, таких як увімкнення та вимкнення освітлювальних приладів у приміщеннях з фіксованою активністю користувачів можуть застосовуватися внутрішні алгоритми “якщо-тоді”, але для складних задач таких як моніторинг ефективності використання електроенергії приладами у помешканні, що вимагає опрацювання багатьох незалежних факторів впливу є потреба у застосуванні алгоритмів штучного інтелекту. Після калькулювання змін стану за допомогою моделей штучної нейронної мережі, відбувається зміна налаштувань побутових приладів відповідно до нового стану системи. Для покращення методів застосування алгоритмів штучної нейронної мережі, виникнена подія та стан системи надсилаються на сервер провайдера. Якщо виникнена подія є унікальною, дана подія записується у базу даних навчальної вибірки. Після запису події відбувається процес перенавчання моделі штучної нейронної мережі на основі оновленої навчальної вибірки. Після завершення процесу навчання нова актуальна модель штучної нейронної мережі надсилається клієнтській частині для збереження та подальшого використання під час автоматизованого процесу визначення змін стану налаштувань системи.

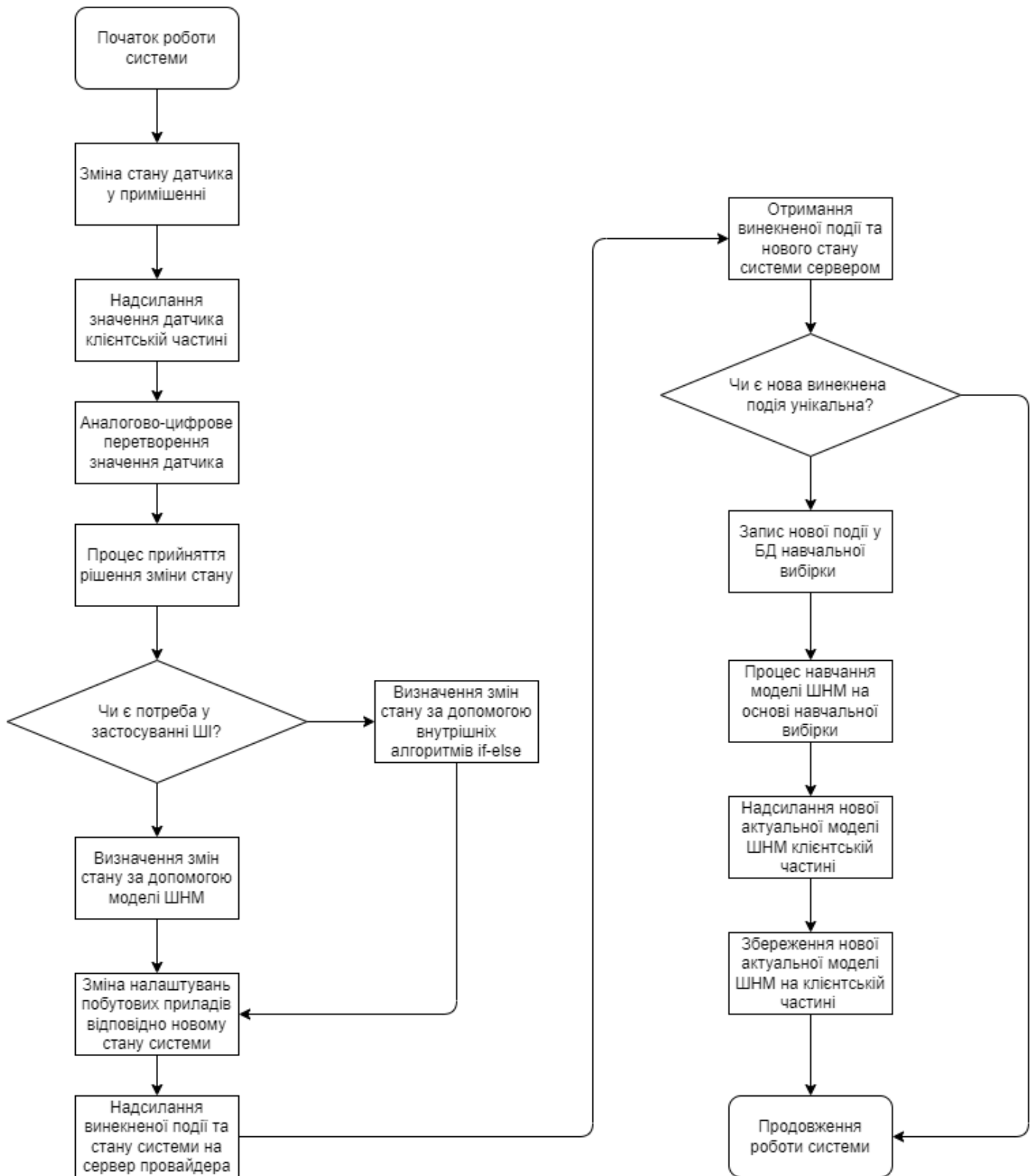


Рис. 2.14. Алгоритм роботи системи

Детальний алгоритм перетворення сигналів з сенсорів помешкання у команди зміни налаштувань побутових приладів (Рисунок 2.15) можна описати наступним чином. Спрацювання датчика призводить до виникнення аналогового сигналу, що пересилається до клієнтської частини. Клієнтська частина перетворює аналоговий сигнал у цифровий для подальшого опрацювання. Наступним кроком є визначення типу виникненої події такі як зміна температури, зміна значення енерговитрат приладом або рух користувачів у приміщенні. Тип визначної події впливає на використання методу генерації нового стану системи. Якщо виникнення події створює комплексну задачу для калькуляції нового стану системи, відбувається запуск алгоритму штучної нейронної мережі з даними події на вхідному шарі. На вихідному шарі штучної нейронної мережі система отримує значення потрібних при даній ситуації налаштувань побутових приладів помешкання. Наступним кроком є порівняння поточного та нового стану налаштувань побутових приладів. При виявленні різниці між поточним та новим станом відбувається перетворення нового стану налаштувань у команди відповідним побутовим приладом. Створені команди надсилаються побутовим приладам, які в свою чергу після зміни налаштувань відправляють підтвердження про застосування змін.

Клієнтська частина системи може перебувати у наступних шістьох станах до яких відносять: режим очікування, процес аналого-цифрового перетворення сигналу сенсора, калькуляція нового стану системи, надсилання команди змін налаштувань приладам, очікування отримання підтвердження зміни налаштувань приладів, відправка повідомлення користувачу про зміну налаштувань приладів. Переходи між описаними станами відображені на Рисунку 2.16.

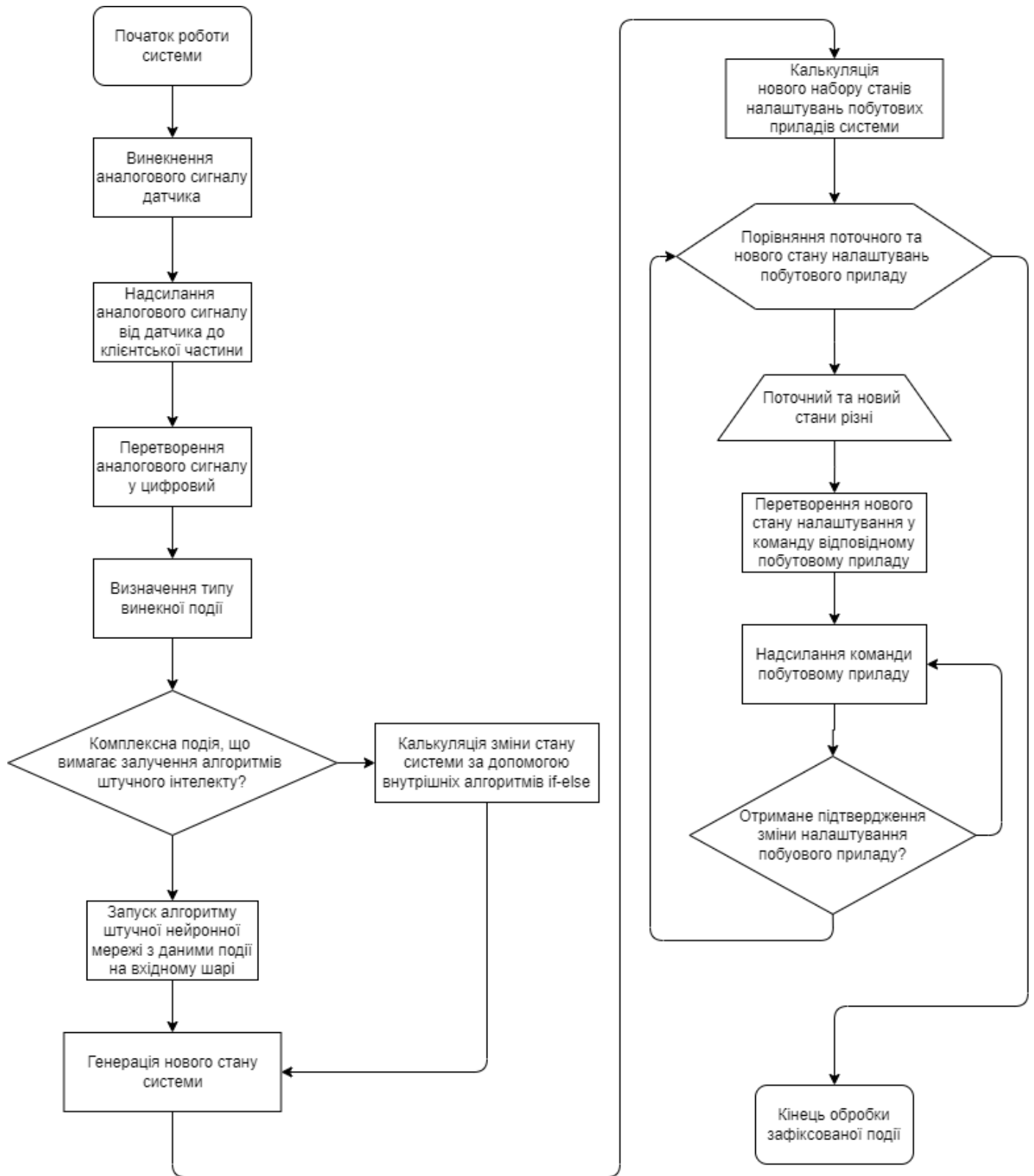


Рис. 2.15. Алгоритм перетворення сигналів сенсорів у команди приладам

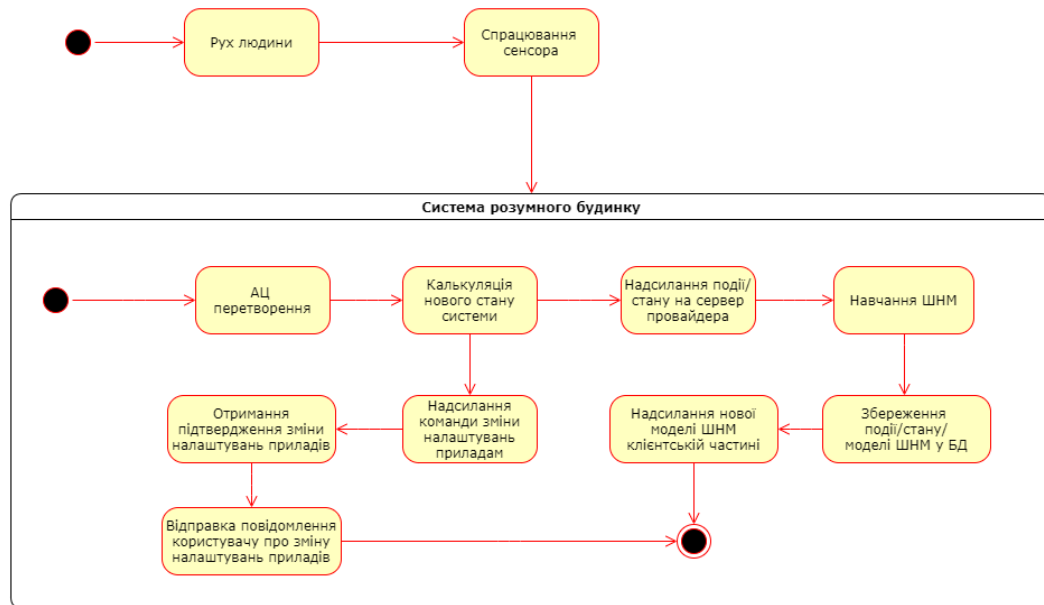


Рис. 2.16. Діаграма станів системи

Основна активність функцій відбувається між користувачами, побутовими приладами та чотирма вузлами системи: сенсорами, клієнтською частиною, серверною частиною та базою даних. Послідовності виконання завдань та активності у межах роботи системи відображенні на наступних діаграмах (Рисунок 2.17, Рисунок 2.18).

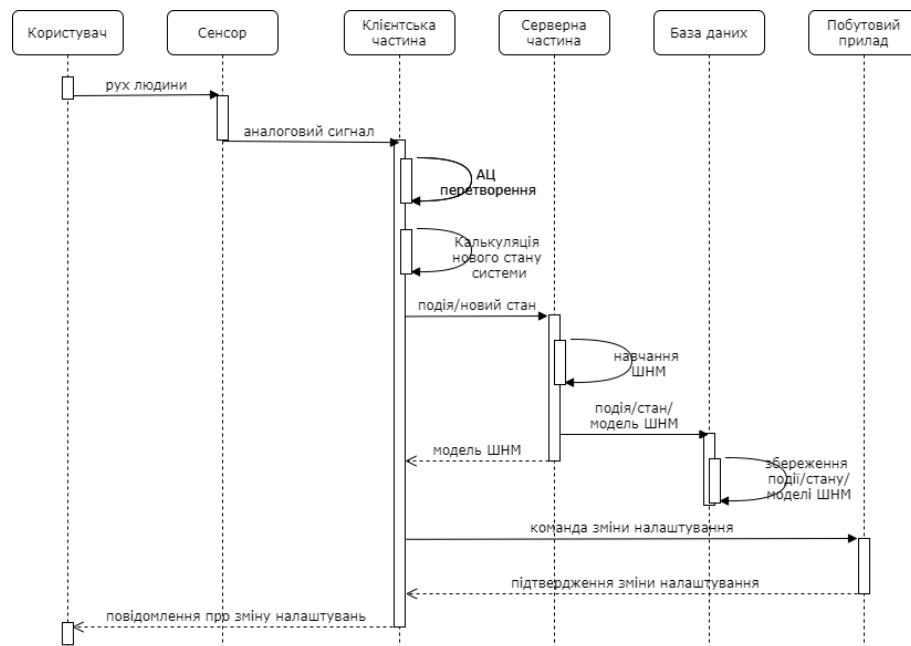


Рис. 2.17. Діаграма послідовності роботи системи

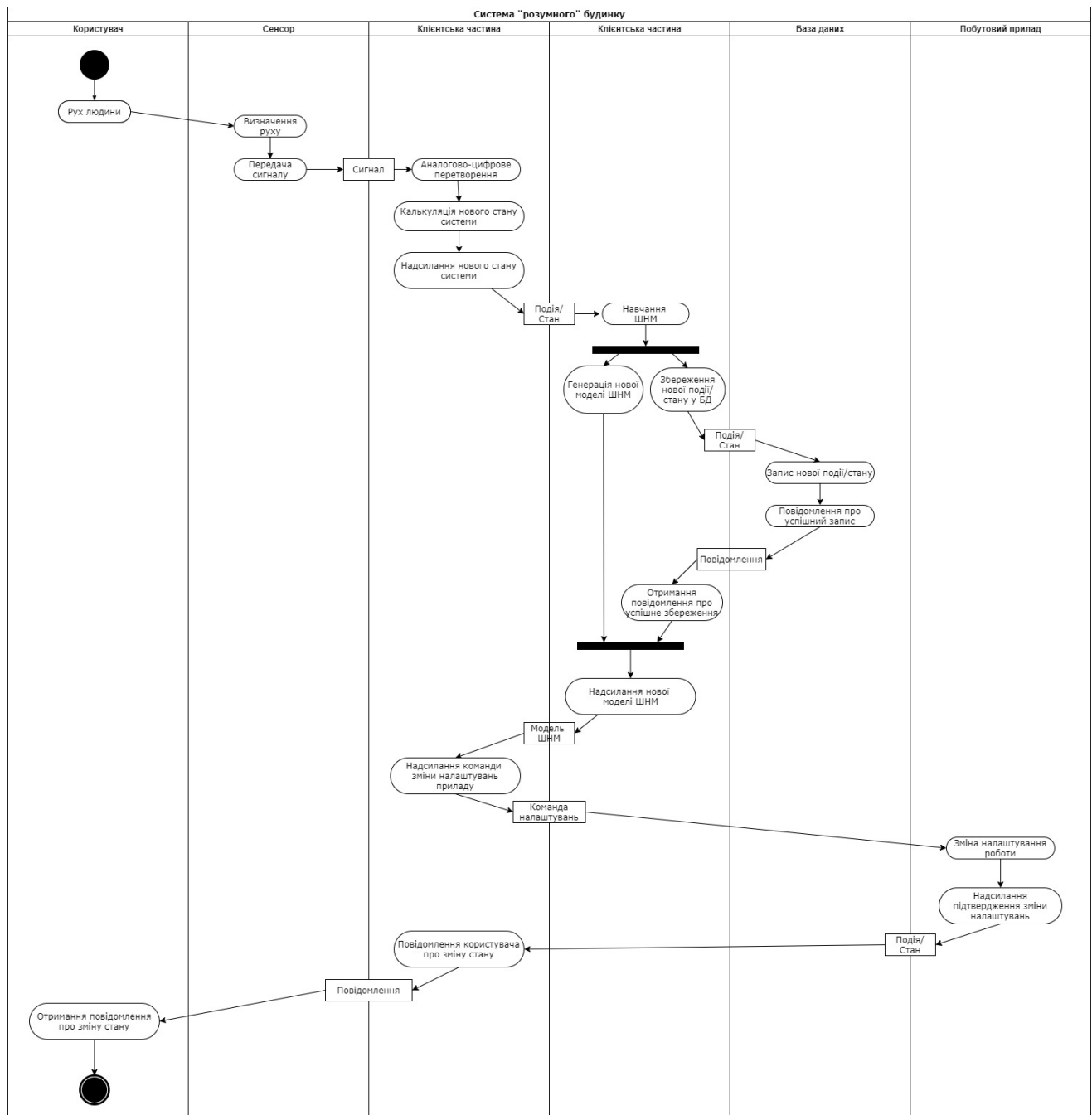


Рис. 2.18. Діаграма активностей під час роботи системи

2.6 Висновки до розділу 2

1. Вперше застосовано архітектуру системи “розумного” будинку з використанням моделі поширення програмного забезпечення SaaS, що дало змогу оптимально розподілити навантаження на систему між потужним сервером провайдера та малопотужними і дешевими мікрокомп’ютерами на стороні користувачів.

2. Розроблено метод опрацювання великих об'ємів даних у системах «розумного» будинку на основі архітектурного шаблону Redux, що дало змогу знизити кількість взаємозв'язків між подіями всередині розроблюваної системи, має позитивний вплив на можливість легкого масштабування системи завдяки збільшенню одночасно під'єднаних клієнтських частин та опрацювання більшої кількості подій, що генерується більшою кількістю користувачів.

3. Застосовано мережі Петрі для зміни налаштувань системи «розумного» будинку, що дало змогу зробити цей процес закритою та структурованою системою, підвищивши показники надійності функціонування системи.

4. Розроблено метод управління приладами «розумного» будинку, який ґрунтується на синтезі алгоритму штучних нейронних мереж та мереж Петрі, що дає змогу використовувати всю потужність сучасних розробок штучного інтелекту у поєднанні з обмеженнями автоматизовано прийнятих рішень задля безпеки користувачів системи у разі збою у роботі складних алгоритмів машинного навчання.

РОЗДІЛ 3. ЗАПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ, МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ТА АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

3.1 Розроблення методу емуляції 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 3.1). Приміщення помешкання поділяються на відповідні 7 зон для забезпечення логічного групування сенсорів та приладів в окремих частинах помешкання (Рисунок 3.2). Декомпозиція поділу помешкання на окремі приміщення та функціональні зони представлена на Рисунку 3.3. Алгоритм методу емуляції помешкання представлений на Рисунку 3.4.

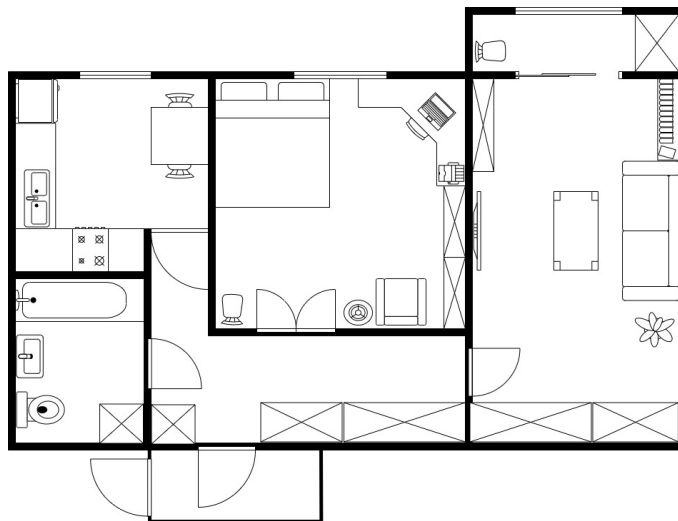


Рис. 3.1. План помешкання емуляції роботи системи «розумного» будинку

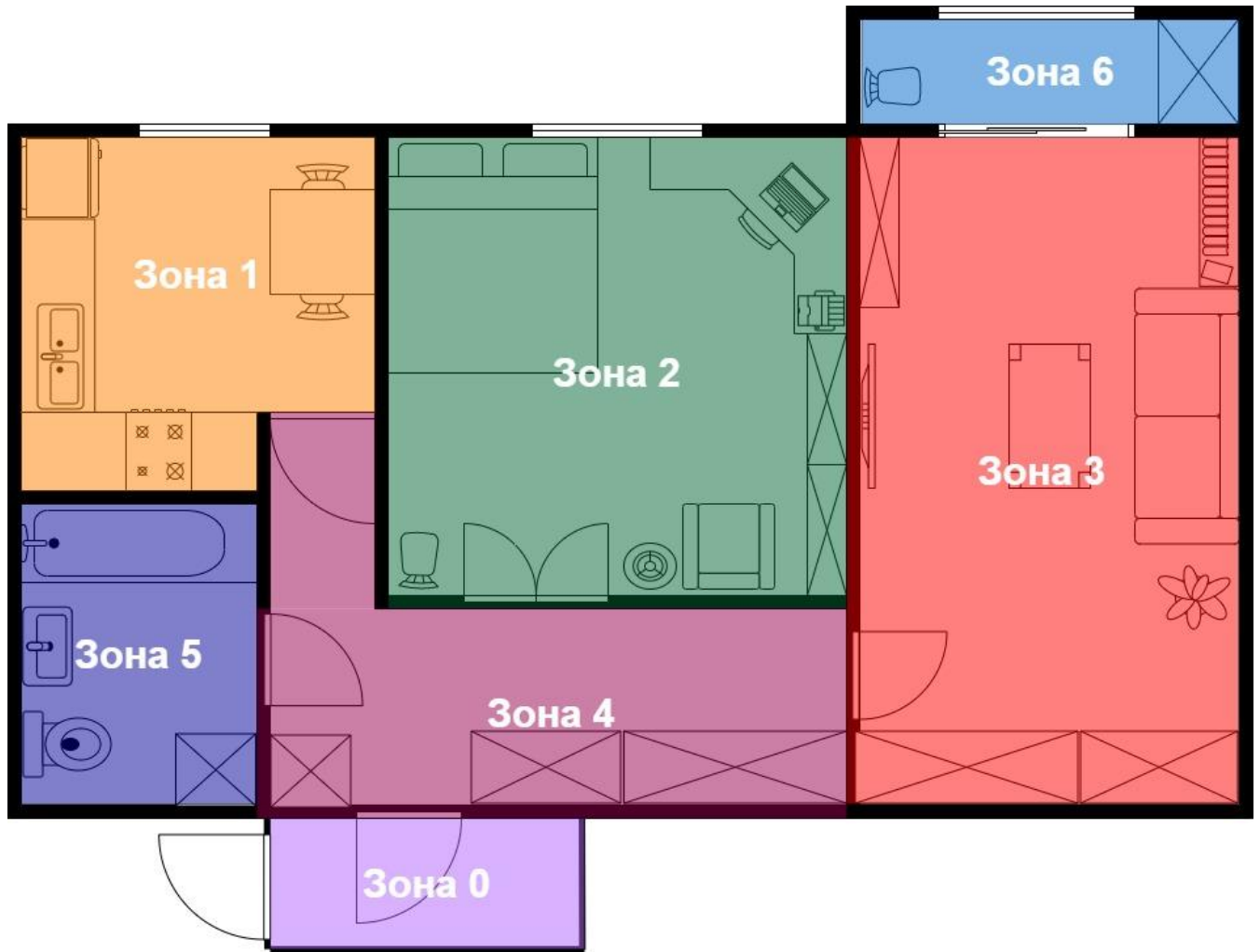


Рис. 3.2. План зонування приміщень помешкання

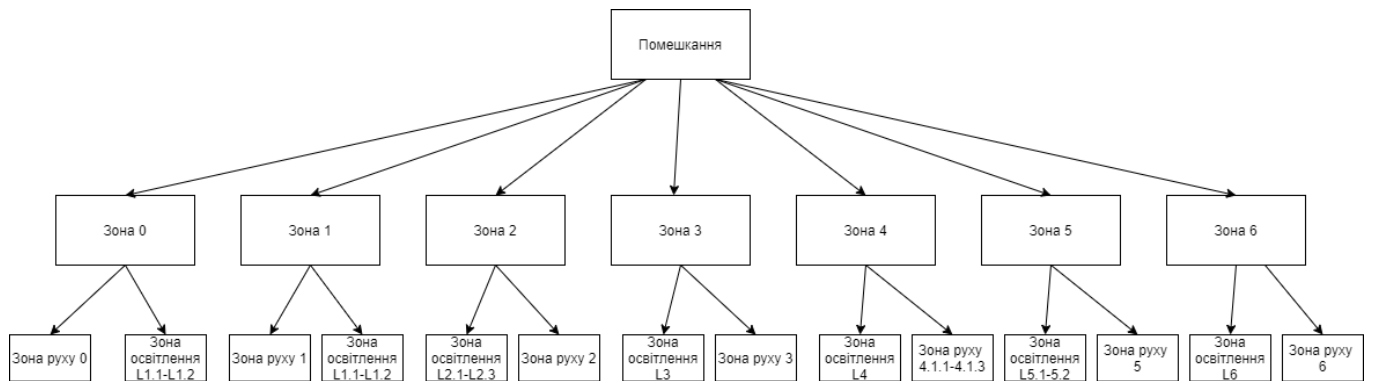


Рис. 3.4. Декомпозиція помешкання на приміщення та функціональні зони

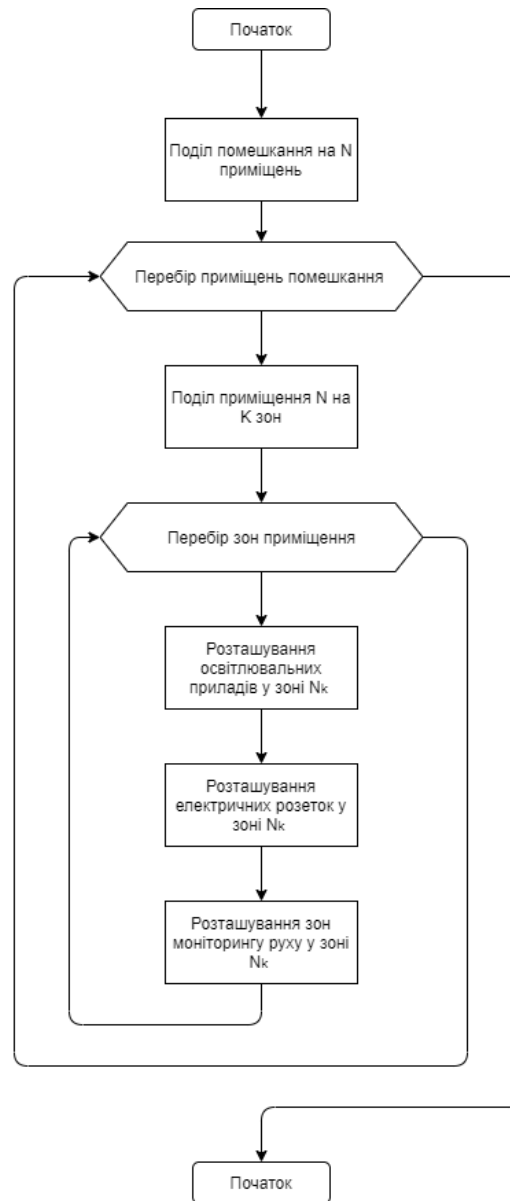


Рис. 3.4. Алгоритм методу емуляції помешкання

Таблиця 3.1.

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 3.5). 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 3.6.

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

$$SB = (Z, G, El), \quad (3.1)$$

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

$$Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n), \quad (3.2)$$

де n – кількість зон в «розумному» будинку,

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_m), \quad (3.3)$$

де m – кількість груп,

$$El = (El_1, El_2, \dots, El_k), \quad (3.4)$$

де k – кількість пристроїв.



Рис. 3.5. План розташування освітлювальних приладів у помешканні

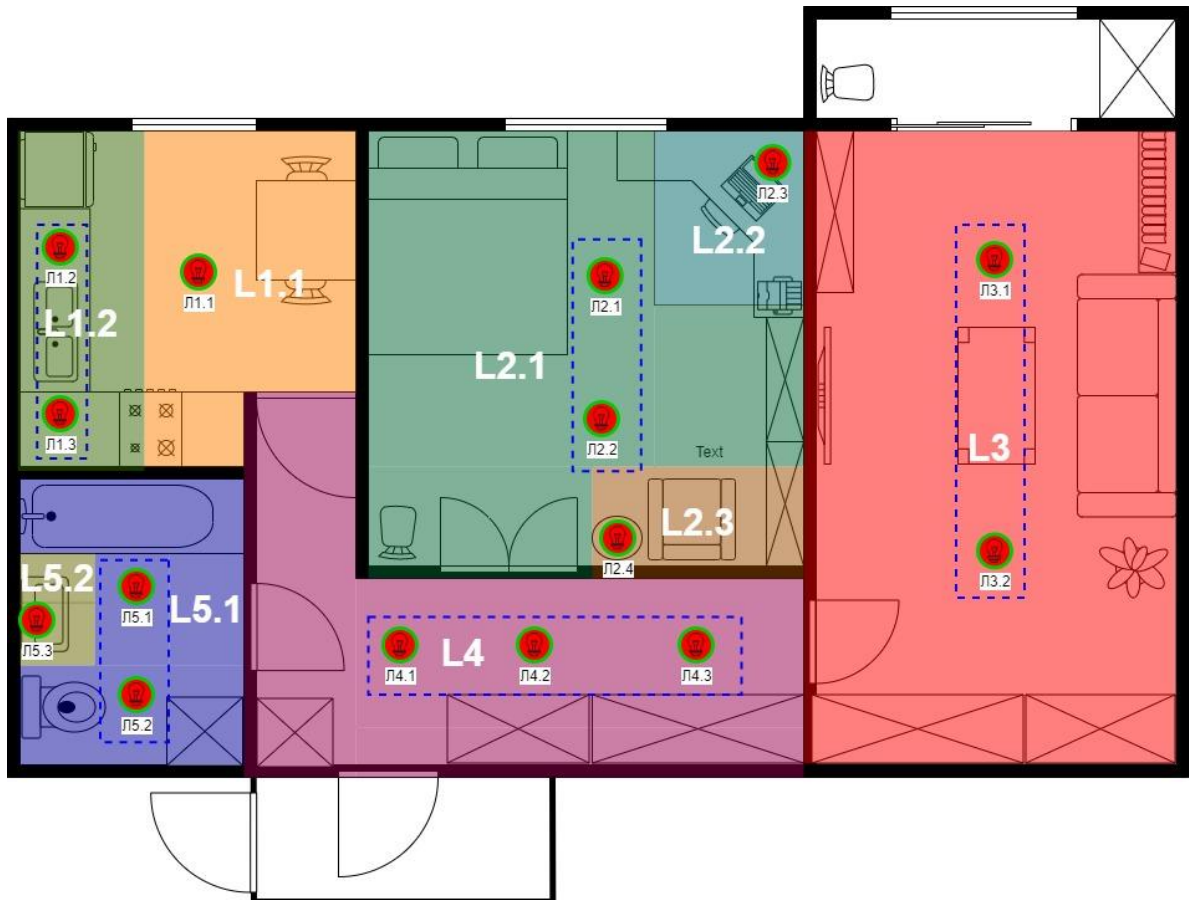


Рис. 3.6. План розташування зон освітлення у помешканні

Таблиця 3.2.

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 3.7.

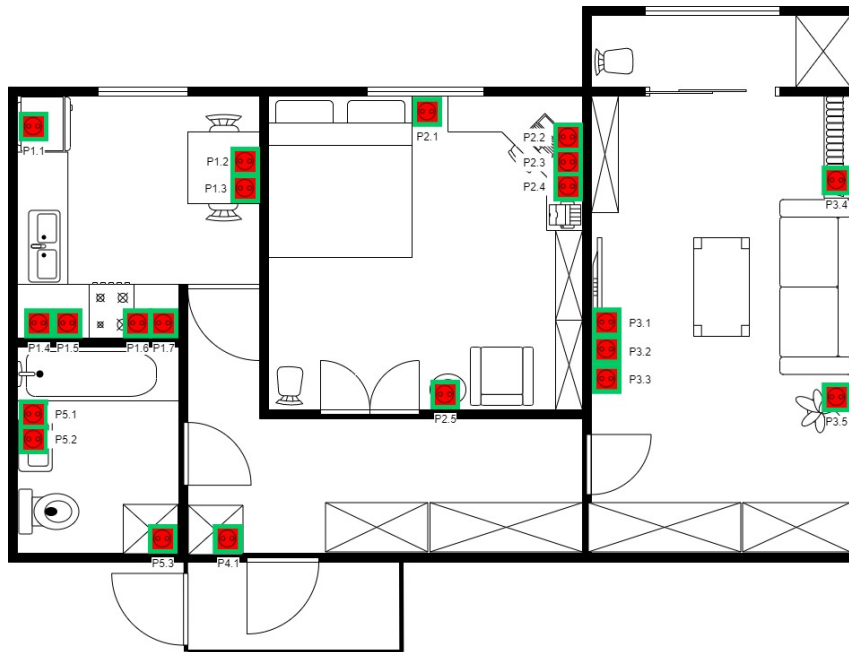


Рис. 3.7. План розташування електричних розеток у помешканні

Таблиця 3.3.

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.

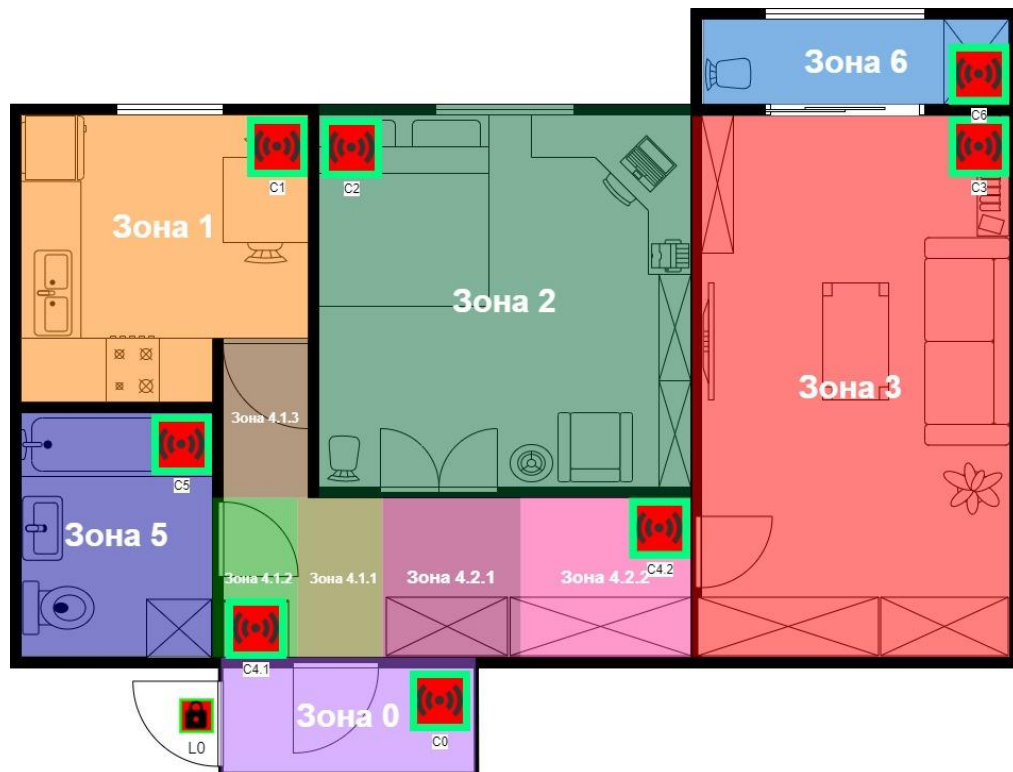


Рис. 3.8. План розташування зон моніторингу руху у помешканні

Таблиця 3.4.

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:

$$Z_i = (Z_{i,1}, Z_{i,2}, \dots, Z_{i,j}), \quad (3.5)$$

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).

3.2 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. 3.5.

Таблиця 3.5.

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 руху
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 3.9.

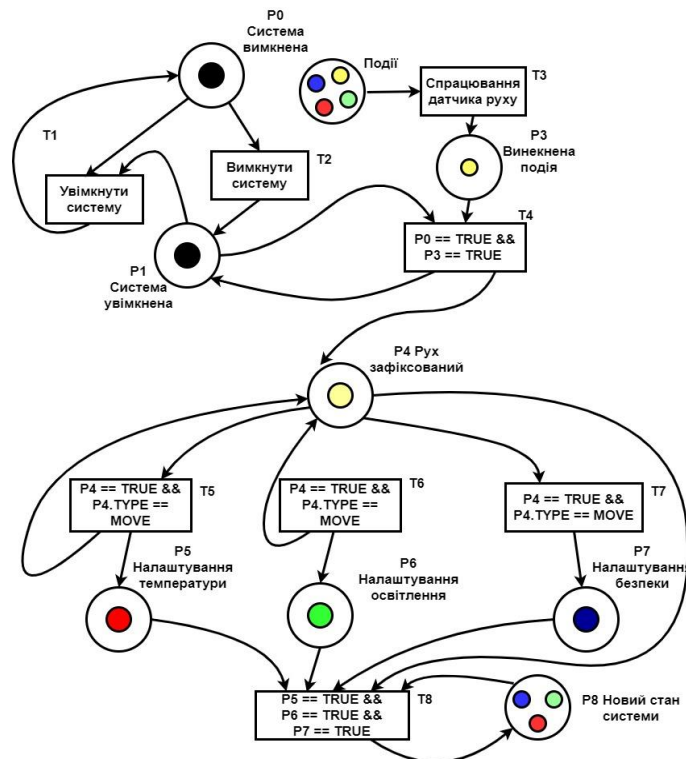


Рис. 3.9. Мережа Петрі: моделювання процесів роботи системи "розумного" будинку та взаємодії її підсистем

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 3.10).

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.

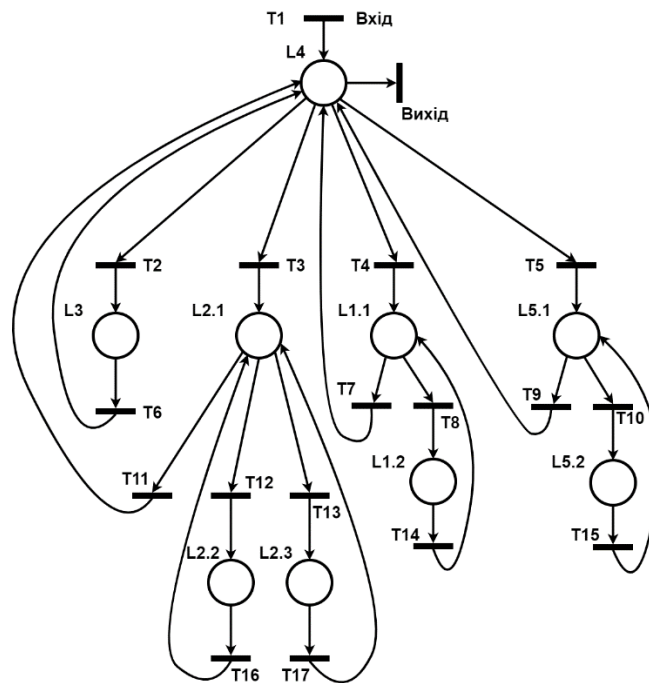


Рис. 3.10. Мережа Петрі станів роботи підсистеми управління освітлювальними приладами помешкання

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 $q_{j\varepsilon}$ та $r_{j\varepsilon}$:

$$Q = |q_{j\varepsilon}| = \begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{k1} & q_{k2} & \dots & q_{kn} \end{vmatrix} \quad (3.6)$$

$$R = |r_{j\varepsilon}| = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & r_{kn} \end{vmatrix} \quad (3.7)$$

Елемент $q_{j\varepsilon}$, 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 $r_{j\varepsilon}$, 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 3.11). 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.

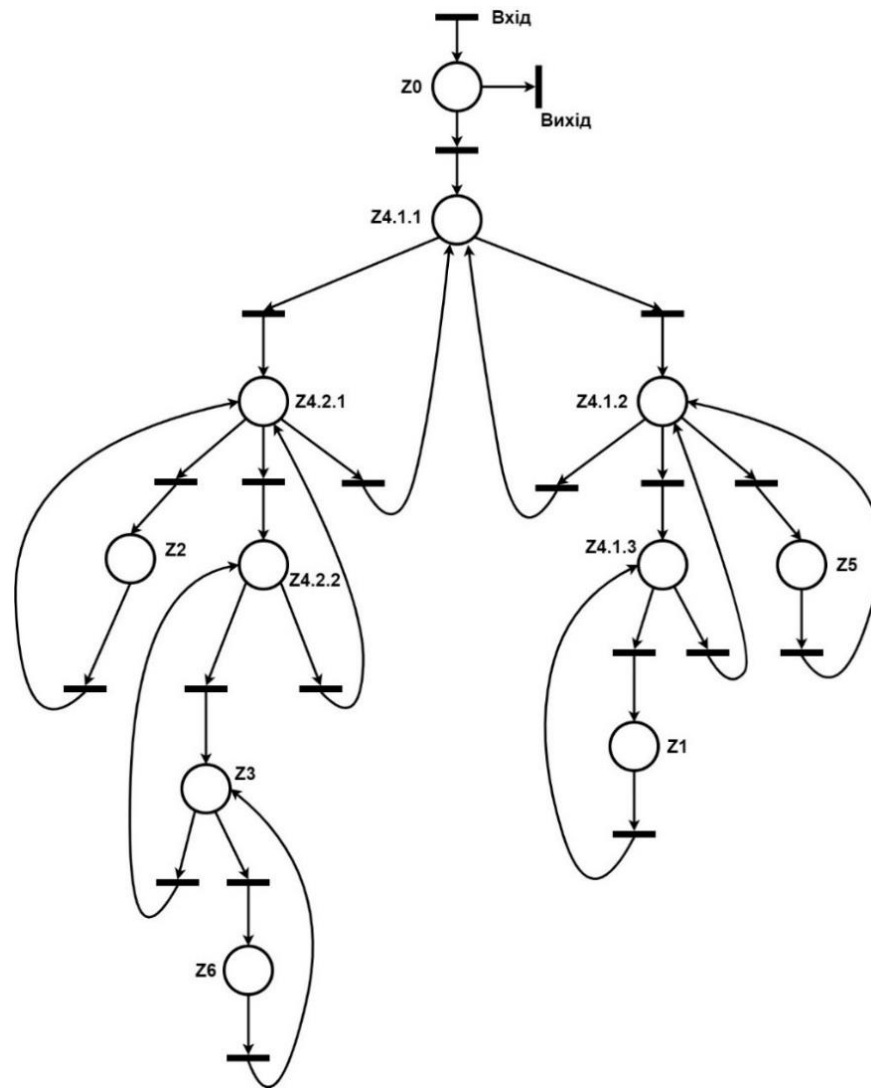


Рис. 3.11. Мережа Петрі станів підсистеми моніторингу руху у помешканні

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.

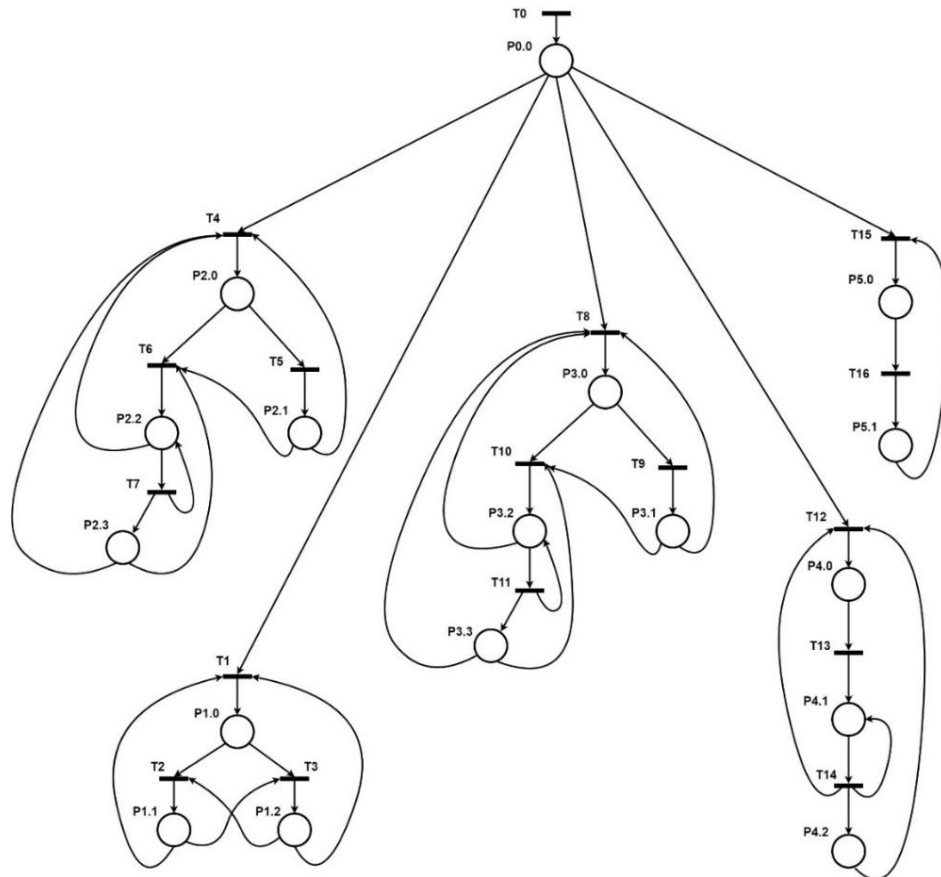


Рис. 3.12. Мережа Петрі станів підсистеми клімат-контролю помешкання

Таблиця 3.6.

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	-	+		

3.3 Методи автоматизованого управління приладами будинку за допомогою роботи алгоритмів штучного інтелекту

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.

Математично модель штучної нейронної мережі, що використовується для керування спрацюванням переходів мережі Петрі можна зобразити за допомогою

рівняння для отримання значень переходів, які мають бути задіяні на вихідному шарі j ($a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$) у якості функції вхідних значень присутності мешканців, температури, налаштувань приладів, тощо ($x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) на вхідному шарі штучної нейронної мережі:

$$a_n^{(j)} = g(\theta_{10}^{(j-1)} x_0 + \theta_{11}^{(j-1)} x_1 + \theta_{12}^{(j-1)} x_2 + \theta_{13}^{(j-1)} x_3 + \dots + \theta_{1n}^{(j-1)} x_n). \quad (3.10)$$

У представлених рівняннях верхній індекс ваги представляє номер шару, а нижній індекс ваги визначає вагу з'єднання між вхідними та вихідними вузлами. Тобто, $\theta_{12}^{(1)}$ відображає вагу першого шару між вузлом 1 і вузлом 2 наступного рівня.

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.

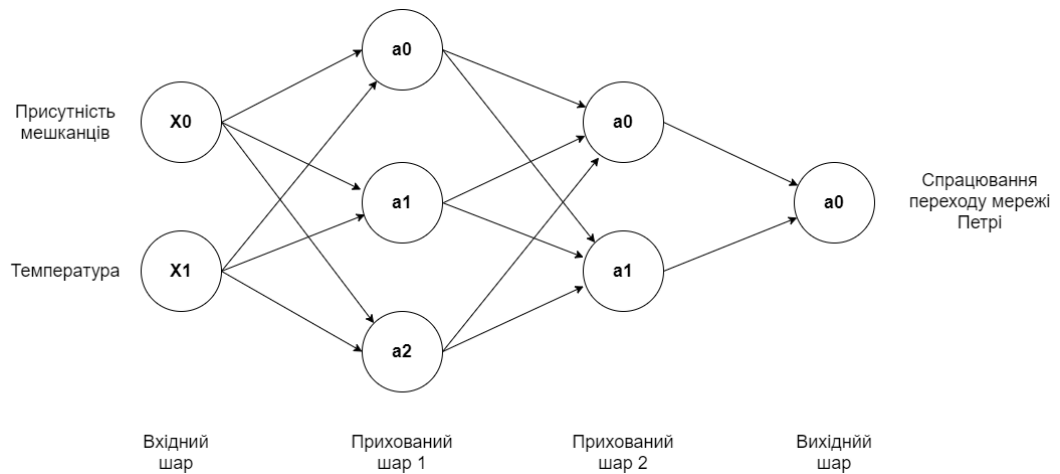


Рис. 3.13. Структури найронної мережі для активації переходу мережі Петрі

Розглянуту штучну нейронну мережу, математично можна відобразити за допомогою наступних рівнянь. Рівняння вузлів першого прихованого шару використовують значення двох вузлів вхідного шару (x_0, x_1):

$$a_0^{(2)} = g(\theta_{00}^{(1)} x_0 + \theta_{01}^{(1)} x_1), \quad (3.11)$$

$$a_1^{(2)} = g(\theta_{10}^{(1)} x_0 + \theta_{11}^{(1)} x_1), \quad (3.12)$$

$$a_2^{(2)} = g(\theta_{20}^{(1)} x_0 + \theta_{21}^{(1)} x_1). \quad (3.13)$$

Рівняння вузлів другого прихованого шару, використовують результати трьох вузлів першого прихованого шару:

$$a_1^{(3)} = g(\theta_{00}^{(2)} a_0^{(2)} + \theta_{01}^{(2)} a_1^{(2)} + \theta_{02}^{(2)} a_2^{(2)}), \quad (3.14)$$

$$a_2^{(3)} = g(\theta_{10}^{(2)} a_0^{(2)} + \theta_{11}^{(2)} a_1^{(2)} + \theta_{12}^{(2)} a_2^{(2)}). \quad (3.15)$$

Значення вузла вихідного шару представлено як функція значень (a_0, a_1) попереднього другого прихованого шару:

$$a_0^{(4)} = g(\theta_{00}^{(3)} a_1^{(3)} + \theta_{01}^{(3)} a_1^{(3)}). \quad (3.16)$$

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 унеможливує 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 3.14.

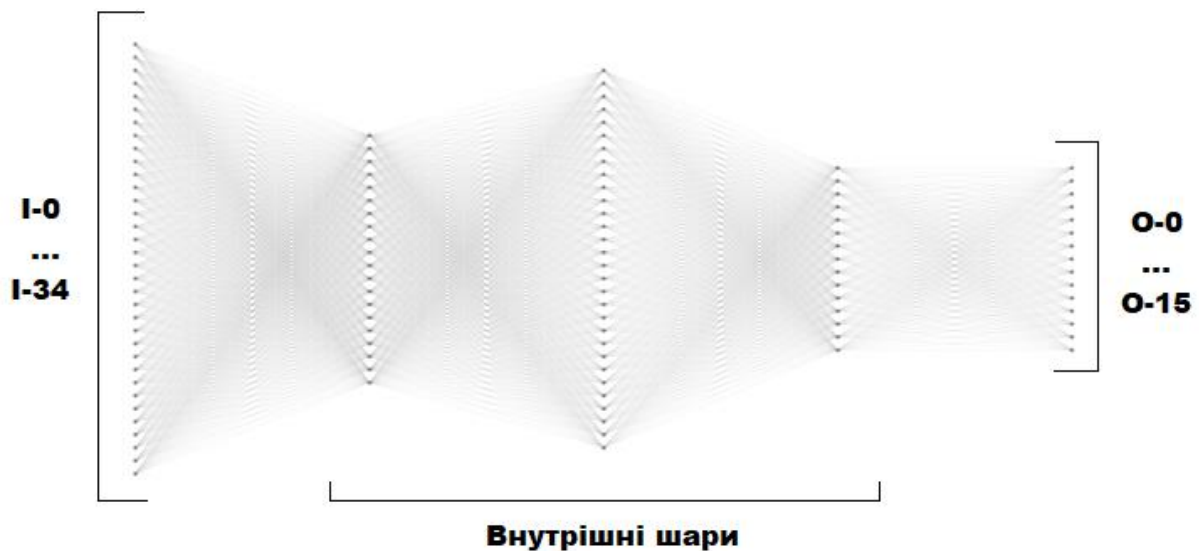


Рис. 3.14. Структура нейронної мережі керування переходами мережі Петрі підсистеми клімат-контролю помешкання

Таблиця 3.7.

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 3.15.

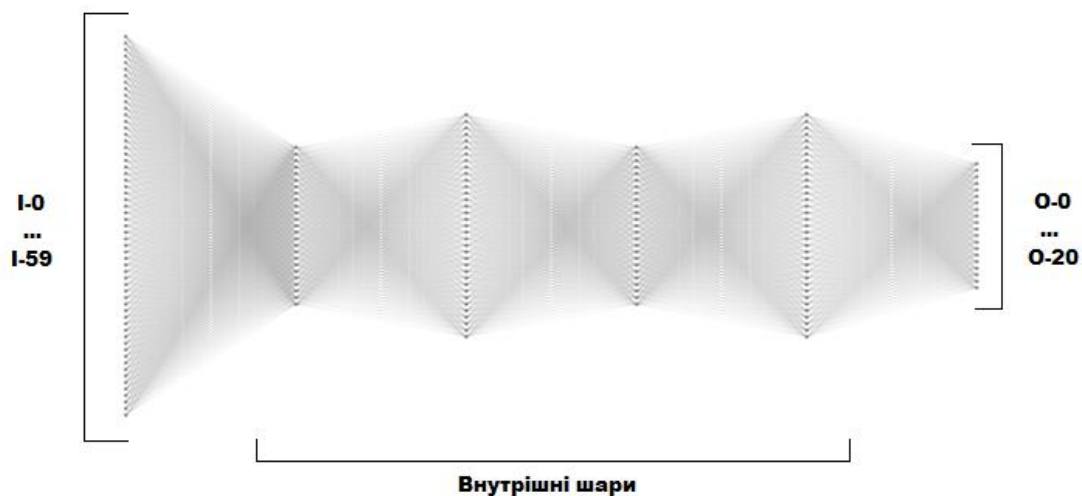


Рис. 3.15. Структура нейронної мережі для моніторингу ефективності використання електроенергії у приміщеннях помешкання

Таблиця 3.8.

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

3.4 Висновки до розділу 3

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 4. РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРИЛАДАМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Структура модулів та архітектура програмної реалізації інформаційної технології

Для реалізації розроблених методів управління «розумним» будинком вибрана клієнт-серверна архітектура програмного забезпечення. Дане архітектурне рішення дозволяє знизити вимоги до технічних характеристик апаратного забезпечення встановленого у квартирах, будинках та установах із запровадженою системою «розумного» будинку, використовуючи недорогі мікроконтролери, такі як Raspberri Pi чи Arduino. Водночас, дана архітектура дозволяє використовувати потужне серверне апаратне забезпечення для основної частини обчислень. Такий підхід знижує вартість встановлення системи для кінцевих споживачів та одночасно надає можливість швидкого оновлення функціоналу та виправлення знайдених вразливостей за допомогою оновлення програмного забезпечення на стороні сервера, яке швидко буде доступне для використання у всіх клієнтів, що звертаються до сервера.

Структура розробленої системи складається з сенсорів, побутових приладів, серверної та клієнтської частини системи. Зміна параметрів температури та руху користувачів системи у приміщеннях помешкання викликає генерацію нових даних від сенсорів розташованих у помешканні, що надсилаються клієнтській частини для подальшого опрацювання за допомогою локальної мережі LAN чи безпроводних стандартів передачі даних ZigBee, Wi-Fi та Bluetooth. Серверна частина комунікує з клієнтською частиною отримуючи від неї дані про зміни параметрів за допомогою мережі Інтернет, проводить навчання нових моделей штучних нейронних мереж, надсилає нові моделі машинного навчання клієнтським частинам, зберігає історичні данні та надсилає повідомлення користувачам системи.

Серверна частина у свою чергу складається з чотирьох модулів, а саме модуля навчання штучної нейронної мережі, віддаленої бази даних, резервної віддаленої бази даних та сервісу оповіщень. Для реалізації програмного забезпечення серверної частини вибрана мова програмування JavaScript та технологія для її використання на серверній частині NodeJS. Вибір даної технології зумовлений її можливістю ефективно обробляти велику кількість запитів з високою швидкістю, що є важливим критерієм у розробці високонавантажених систем «розумного» будинку з одним сервером та великою кількістю одночасно підключених клієнтів, які надсилають потік неструктурованих даних з різноманітних сенсорів під'єднаних до клієнтських частин системи у режимі реального часу.

Модуль навчання штучної нейронної мережі відповідає за процес побудови моделей штучної нейронної мережі для кожного окремого клієнта на базі історичних даних, які постійно оновлюються відповідно до нової інформації, що надходить від сенсорів та побутових приладів під'єднаних до клієнтського мікроконтролера. Ці дані несуть приховану інформацію про звички та вподобання мешканців чи користувачів системи «розумного» будинку, які не можуть бути виокремлені людиною особисто, але можуть бути проаналізовані із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту. Для реалізації штучної нейронної мережі використано відкриту програмну бібліотеку TensorFlow, що розроблена компанією Google та активно розвивається і надає можливість гнучко налаштовувати структури нейронних мереж та проводити процес їхнього навчання.

Віддалена документо-орієтована база даних зберігає дані які надходять від інших частин системи, що в подальшому використовуються у процесі навчання штучних нейронних мереж. До таких даних належать дані, що надходять від клієнтських частин системи, дані згенерованих моделей штучних нейронних мереж, які в подальшому використовуються клієнтськими частинами для керування приладами. Віддалена реляційна база даних використовується для збереження даних, що стосуються клієнтських частин системи, їх налаштувань, станів та внутрішньої системної

інформації. Резервні віддалені бази даних використовуються для забезпечення надійності збереження даних у системі та легкого їх відновлення у разі виникнення ситуацій збою роботи основної віддаленої бази даних.

Сервіс оповіщень використовується для надання інформації користувачам системи про стан системи та важливі події за допомогою повідомлень електронної пошти, смс-повідомлень та push-нотифікацій на мобільні телефони користувачів. Модуль нотифікації виконує функції збору важливих подій, що виникають під час роботи системи, форматування інформації повідомлення у зручний для сприйняття користувачами вигляд, визначення відповідного методу повідомлення (e-mail, SMS, push) та надсилання повідомлень за допомогою інтегрованих сторонніх сервісів для e-mail та SMS розсилок і сервісів реалізації push-нотифікацій для мобільних приладів.

Для реалізації архітектурного рішення серверної частини розробленої системи «розумного» будинку була обрана платформа хмарних обчислень Amazon Web Services (AWS). Amazon Web Services (AWS) - це найпоширеніша в світі хмарна платформа з широкими можливостями. AWS надає незрівнянно більше сервісів і їх функцій, ніж будь-який інший постачальник хмарних послуг: від інфраструктурних технологій, таких як інструменти для обчислення, сховища і бази даних, до сервісів, наприклад машинного навчання і штучного інтелекту, озер даних і аналітики, а також Інтернету речей. З ними клієнт зможе швидше, легше і дешевше перенести поточні, або розробляти нові додатки у хмарі і реалізовувати в ньому будь-які можливі проекти.

Клієнтська частина отримує дані від сенсорів та побутових приладів, надсилає поточні стани системи серверній частині, отримує нові розраховані моделі штучної нейронної мережі від серверної частини, калькулює новий стан налаштувань системи на основі моделей штучних нейронних мереж, надсилає команди побутовим приладам для змін їх налаштувань.

Апаратне забезпечення клієнтської частини реалізоване на базі мікроконтроллера Raspberry Pi. Важливими факторами, що вплинули на вибір даного рішення є низька вартість мікроконтроллера, відповідність вимогам до клієнтського апаратного

забезпечення з точки зору очислювальних ресурсів (сотні-тисячі МГц тактової частоти процесора, сотні МБ оперативної пам'яті та сотні-тисячі МБ постійної пам'яті), низький рівень енергоспоживання і теплової віддачі під час роботи, що у більшості випадків не потребує додаткових вентиляторів чи радіаторів для охолодження. Контроллери у свою чергу можуть поєднуватись в групи у межах окремих будівель, що створюватиме логічну класифікацію специфіки генерованих даних сенсорів для подальшого аналізу отриманих даних, знаходження взаємозв'язків та взаємозалежностей між окремими структурами даних. Групи клієнтських контролерів з'єднуються з віддаленими дата-центрами за допомогою мережі Інтернет.

Клієнтська частина складається з апаратного модуля аналого-цифрового перетворення сигналів сенсорів, програмного модуля комунікації з серверною частиною системи, модуля керування станом системи та програмного модуля керування побутовими приладами. Більшість сенсорів генерує аналоговий сигнал, що потребує конвертації у цифровий вигляд для подальшого опрацювання системою. Модуль комунікації з сервером надсилає серверній частині дані про поточний стан клієнтської частини системи, що застосовується для навчання штучних нейронних мереж на стороні серверної частини. Також, модуль комунікації з сервером отримує нові обчислені серверною частиною моделі штучних нейронних мереж. Отримані моделі штучних нейронних мереж використовують модуль керування станом системи для обрахування нових налаштувань побутових приладів у помешканні. Нові параметри налаштування надсилаються побутовим приладам за допомогою модуля керування побутовими приладами. Побутові прилади розміщені у помешканні з встановленою системою «розумного» будинку, отримуючи нові команди налаштування змінюють стани роботи відповідно до зміни показників сенсорів у помешканні.

Програмне забезпечення клієнтської частини розроблено з використанням мови програмування JavaScript та технології NodeJS. Даний вибір дозволить отримати більшу сумісність з серверною частиною, яка використовує аналогічний технологічний стек.

Структура модулів розробленої системи «розумного» будинку зображена на Рисунок 4.1.

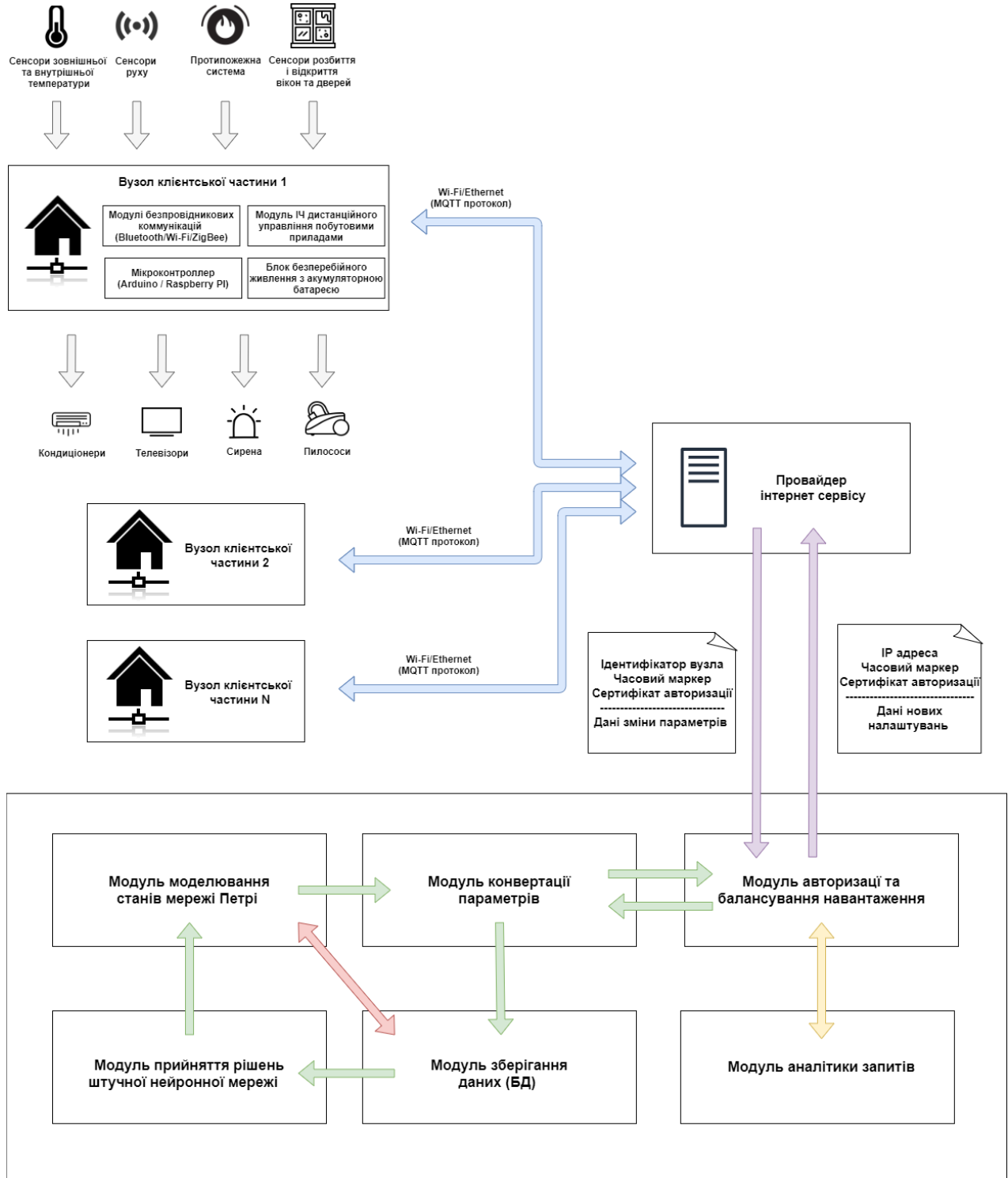


Рис. 4.1. Структура модулів розробленої системи «розумного» будинку

Мережева структура розробленої системи «розумного» будинку складається з сенсорів, побутових приладів, клієнтських контроллерів та віддалених дата центрів. Сенсори та побутові прилади з'єднуються з контроллерами розташованими у приміщеннях помешкань будинку. З'єднання відбувається з використанням додаткових модулів контроллерів для віддаленого управління та підтримки з'єднання за допомогою бездротових протоколів передачі даних. Віддалене управління приладами та отримання даних від сенсорів відбувається за допомогою команд інфрачервоного випромінювання та бездротових протоколів передачі даних Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, що є найбільш поширеними у використанні розробниками сучасних сенсорів та підтримуються за допомогою більшості вбудованих, або додаткових модулів інфрачервоного випромінювання та підтримки безпроводної комунікації мікроконтроллерів та мікрокомп'ютерів. Схема протоколів комунікації сенсорів та побутових приладів з контроллерами клієнтської частини системи «розумного» будинку зображена на Рисунку 4.2.



Рис. 4.2. Схема протоколів комунікації сенсорів та побутових приладів з контроллерами клієнтської частини

Комунікація між клієнтським апаратним забезпеченням та серверами відбувається за допомогою мережевого протоколу HTTP з використанням підходу REST. REST — підхід до архітектури мережевих протоколів, які надають доступ до інформаційних ресурсів. Для реалізації цього рішення використаний сервіс Amazon API Gateway, що дозволяє створювати API RESTful, використовуючи API HTTP або API REST. Клієнтська частина комунікує з сервером роблячи HTTP запити з методами GET та POST на попередньо визначені посилання URL, запитуючи інформацію про нові створені моделі штучних нейронних мереж, або надсилаючи інформацію про події, які виникають у приміщеннях. Використаний сервіс Amazon API Gateway ефективно розподіляє мережеві запити між доступними серверами, що є найбільш не завантаженими, або які є найближчими по територіальній віддаленості до клієнта, що забезпечує підтримку рівномірного рівня обчислювального навантаження у системі та зменшення затримок передачі даних. Тобто, повідомлення з інформацією про нові показники датчиків від клієнтської частини надходять для обробки до найближчого сервера з найменшою затримкою відповіді і відповідно клієнт отримує результат її опрацювання сервером якомога швидше. Також, API Gateway дозволяє одночасно використовувати декілька версій одного API, тому клієнтські частини можуть викликати попередні версії API, навіть якщо опубліковані більш нові версії. API Gateway також дозволяє керувати такими стадіями випуску, як альфа, бета і робочою стадією, для кожної версії API. Кожну стадію API можна налаштувати для взаємодії з різними серверними кінцевими точками з врахуванням налаштувань API. Таким чином після внесення оновлень (таких як виправлення помилок чи реалізацію нових функцій) у серверну частину системи можна робити ці оновлення доступними не всім клієнтам одразу, а робити випуск нового функціоналу поетапно по окремим регіонам забезпечивши рівномірне підвищення обчислювального навантаження. Також, такий підхід дає змогу виділяти окрему групу користувачів, які погодяться на тестування нових функцій нестабільної версії системи у реальних умовах до офіційного представлення оновлень всім можливим користувачам системи. Схема розподілу

мережевих запитів між доступними серверами використовуючи сервіс Amazon API Gateway зображена на Рисунку 4.3.

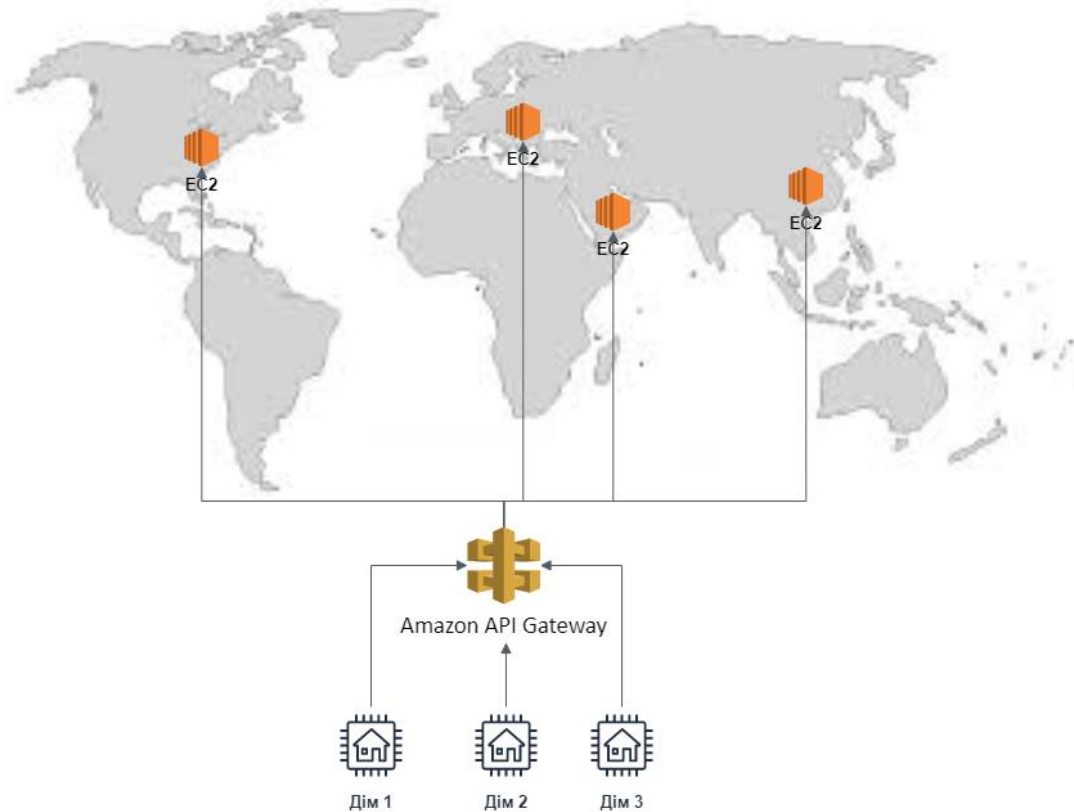


Рис. 4.3. Схема розподілу мережеских запитів між доступними серверами використовуючи сервіс Amazon API Gateway

При розробці архітектури для побудови хмарного аналітичного рішення слід враховувати ефект масштабування. Рішення, прийняті на ранніх етапах проектування, можуть згодитися для десятка IoT-вузлів і одного хмарного кластера, але коли число кінцевих IoT-пристроїв зросте, а система почне охоплювати все більше географічних зон, масштабування може виявитися неефективним.

Припустимо, що система «розумного» будинку великого комерційного бізнес-центру взаємодіє з датчиками руху розташованими по будівлі. Дані щодо події руху займають 2 байти пам'яті. Кожен датчик може відслідковувати інші датчики, які вимагають ремонту (1 байт). Крім того, дані з якими він працює, містять його ідентифікатор і часову мітку (8 байт). У штатному режимі датчики генерують, в

загальній кількості, 1000 повідомлень в секунду, хоча в години пік і під час проведення додаткових заходів, через велике скупчення людей, цей показник може досягати 2200. Допустимо, наш хмарний сервіс здатний обробляти 1500 повідомлень в секунду - тобто, відставання може досягати 700 подій в секунду. Якщо година пік дійсно затягнеться рівно на 1 годину, за цей час у нас накопичиться 2 520 000 необроблених подій. Для того щоб надати системі шанс надолужити згаяне, нам доведеться збільшити обчислювальну потужність кластера або зменшити вхідний потік. Якщо кожен секунду в періоди низької активності обробляти по 500 подій, хмарному кластеру знадобиться 1,4 години і 26.43 Мб пам'яті (2,52 мільйонів подій по 11 байт кожне), щоб нівелювати відставання.

Розрахунок потужності хмарної системи можна виразити наступними рівняннями:

$$C = \text{Потужність кластера} \left(\frac{\text{подія}}{c} \right), \quad (4.1)$$

$$R_{\text{подія}} = \text{Частота надходження подій}, \quad (4.2)$$

$$T_{\text{сплеск}} = \text{Період сплеску подій}, \quad (4.3)$$

$$T_c = \text{Час на усунення відставання}, \quad (4.4)$$

$$M_{\text{відставання}} = \text{Відстаючі повідомлення (розмір)}, \quad (4.5)$$

$$\text{Відставання} = \begin{cases} 0, \text{ де } R_{\text{подія}} \leq C \\ R_{\text{подія}} - C, \text{ де } R_{\text{подія}} > C \end{cases}, \quad (4.6)$$

$$M_{\text{відставання}} = \text{Відставання} \times M_{\text{розмір}}, \quad (4.7)$$

$$T_t = \frac{(R_{\text{подія}} \times T_{\text{сплеск}}) + M_{\text{відставання}}}{c}. \quad (4.8)$$

Для роботи серверної частини програмного забезпечення системи та проведення обчислень використаний сервіс Amazon EC2, що надає обчислювальні потужності у хмарі. Веб-інтерфейс сервісу дозволяє отримати доступ до обчислювальних потужностей і налаштувати ресурси з мінімальними затратами. Сервіс надає користувачам повний контроль над обчислювальними ресурсами, а також просте середовище для роботи. Даний сервіс скорочує час, необхідний для отримання і розгортання нових серверів, що дозволяє збільшувати, або зменшувати потужність апаратного забезпечення впродовж декількох хвилин. Гнучкий характер сервісу

дозволяє розробникам миттєво масштабувати ресурси для задоволення попиту на них або обробляти піки навантаження. При непередбачуваній зміні вимог до обчислювальних ресурсів (підвищення або зниження) Amazon EC2 негайно реагує на це зміною конфігурації апаратного забезпечення, на відміну від традиційних послуг хостингу, де як правило, надається фіксований обсяг ресурсів на певний час, коли можливості користувачів є обмеженими щодо реагування на непередбачувані витрати ресурсів або великі скачки навантаження через різні інтервали часу. Ця можливість активно використовується у розробленій системі враховуючи специфіку зміни навантаження на обчислювальні ресурси впродовж дня, коли вночі виникає у рази менша кількість подій для опрацювання, або під час окремих днів у які господарі помешкання запрошують велику кількість гостей, що несе суттєве підвищення кількості змін станів приладів у будинку та значень параметрів сенсорів. Сервіс Amazon EC2 надає широкий вибір типів конфігурацій апаратного забезпечення, оптимізованих для різних прикладів використання. Різні типи конфігурацій включають різні комбінації таких компонентів, як процесора, оперативної пам'яті, сховища бази даних і мережевих можливостей комунікації, що дозволяє вибрати відповідний набір ресурсів для додатків загального призначення, додатків оптимізованих для задач складних математичних обрахунків, оптимізованих для високої продуктивності роботи з пам'яттю, машинного навчання, тощо. Для потреб розробленої системи використані конфігурації загального призначення (M5a) для задач підтримки основної логіки функціонування системи, що балансують обчислювальні та мережеві ресурси і пам'ять. Вибрана конфігурація є оптимальним рішенням з точки зору, що серверна частина в основному опрацьовує отримані від сенсорів та побутових приладів дані, зберігає їх, веде аналітику та надає функціональність веб-інтерфейсу користувача. Такі види функцій не є вузькоспеціалізованими та не вимагають окремих налаштувань для вирішення специфічних задач. Для виконання високонавантаженої задачі навчання штучних нейронних мереж використані окремі конфігурації для прискорених обчислень (P4), що

використовують апаратні прискорювачі (співпроцесори) і забезпечують найвищу продуктивність машинного навчання та високопродуктивні обчислення в хмарі.

Існує декілька датацентрів серверної частини системи розташованих у різних географічних регіонах. Дані на шляху від клієнтської частини до серверної частини проходять через сервіс системи доменних імен Amazon Route 53 та балансери навантаження AWS Elastic Load Balancing. За допомогою сервісу Amazon Route 53 налаштовуються доменні імена у мережі Інтернет за якими клієнтські частини мають змогу підключатися до серверів, а кінцеві користувачі мають змогу отримати доступ до візуального інтерфейсу керування системою за ім'ям домену, зрозумілим людиною та яке швидко запам'ятати. Тобто інтерфейс системи розташований на серверах хостингу та має відкриту адресу для доступу надану хостинг-провайдером, наприклад 192.266.565.254:2566, що є незручним для сприйняття користувачами системи. Система керування доменними іменами дозволяє зареєструвати ім'я для доступу до інтерфейсу у вигляді назви та домена представленого латинськими літерами чи символами кирилиці (наприклад, my-smart.home). Сервіс системи доменних імен Amazon Route 53 відповідає за організацію маршрутизації трафіку з врахуванням мінімальної географічної відстані від клієнта до регіону у якому знаходиться дата-центр сервісу хмарних обчислень, що забезпечує мінімальні часові затримки передачі даних між серверною та клієнтською частиною. Також, сервіс системи доменних імен направляє запити тільки до дата-центрів з функціонуючими екземплярами програмного забезпечення, оминаючи непрацюючі через збої у роботі адреси мережі, забезпечуючи таким чином підвищення стабільності роботи та відмовостійкості розробленої системи «розумного» будинку. Балансер навантаження направляє запити відповідно до показників навантаженості кожного окремого екземпляру розгорнутого серверного програмного забезпечення розробленої системи у межах одного, або різних дата-центрів розташованих у одному регіоні. AWS Elastic Load Balancing забезпечує оптимізацію та вирівнювання інтенсивності потоку трафіку у системах з швидко змінюючимся навантаженням. Балансер навантаження також не направляє трафік до екземплярів апаратного

забезпечення, що не відповідають, або мають велику затримку відповіді внаслідок збоїв у роботі мережі. У розробленій системі Elastic Load Balancer використаний для забезпечення відмовостійкості та швидкості роботи серверної частини системи у разі різкого збільшення обчислювального навантаження через збільшення кількості виниклих подій для опрацювання у пошканнях під'єднаних до системи (наприклад період святкування Нового року, коли одночасно у багатьох будинках спостерігається більша концентрація людей ніж зазвичай).

Застосований сервіс AWS Auto Scaling керує горизонтальним масштабуванням системи, тобто автоматизовано розгортає нові чи відключає старі екземпляри апаратного забезпечення відповідно до мінливого рівня навантаження на обчислювальні ресурси, між якими AWS Elastic Load Balancing розподіляє трафік. AWS Auto Scaling виконує моніторинг додатків і автоматично налаштовує ресурси для підтримки стабільної прогнозованої продуктивності при мінімально можливих витратах. AWS Auto Scaling дозволяє за лічені хвилини просто налаштувати масштабування додатків для ресурсів в різних інших сервісах AWS. Під час спаду періоду високого навантаження (низької кількості згенерованих подій) – сервери-дублікати зупиняються та видаляються. Даний підхід робить зайвою потребу розгортання окремого сервера на постійній основі та проводити оплату за обчислювальні ресурси надані серверами-дублікатами тільки за час їх використання. Таким чином спочатку Amazon Route 53 маршрутизує запити клієнтських частин (мікроконтролерів Raspberry Pi) до найближче розташованих дата-центрів, а згодом AWS Elastic Load Balancing розприділяє трафік рівномірно між всіма розгорнутими екземплярами програмного забезпечення у регіоні. Цей підхід дає можливість одночасно досягти мінімальних часових затрат на передачі даних по мережі та мінімізувати можливість перенавантаження апаратного забезпечення системи. Мережева структура розробленої системи «розумного» будинку зображена на Рисунку 4.4.

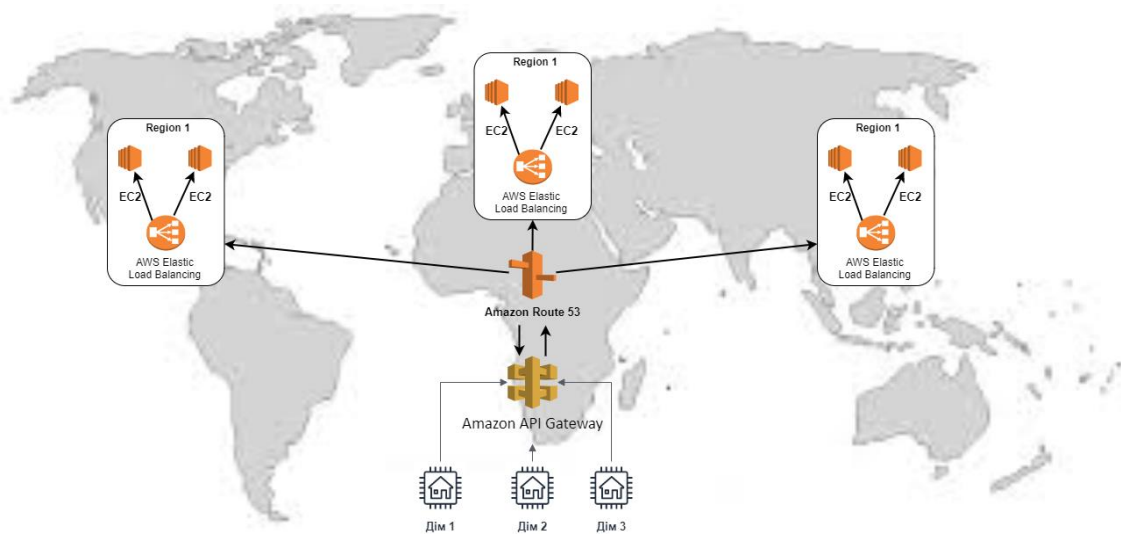


Рис. 4.4. Мережева структура розробленої системи «розумного» будинку

Користувачі розробленої системи мають змогу вносити зміни у роботу системи, переглядати історію виниклих у помешканні подій і автоматизовані реакції системи на них, а також переглядати поточні параметри роботи за допомогою веб-інтерфейсу. Для пришвидшення доступу користувачам системи до статичних файлів візуального інтерфейсу керування та налаштувань системи використаний сервіс мережі доправлення та розповсюдження контенту Amazon CloudFront, що працює на основі методу кешування, що дозволяє зменшити затримки доступу до даних та знижує навантаження на сервери, які є оригінальними джерелами даних. Затримка на отримання файлів інтерфейсу користувача, буде найбільшою тільки для першого користувача, що звернеться до оригінального сервера даних, а всі наступні користувачі будуть звертатися до вже завантажених копій файлів з найближчого до них сервера. Тобто, віддалені сервери мережі доправлення та розповсюдження контенту зберігають лише популярний і часто запитуваний контент. Користувачі розробленої системи запрошуючи доступ до веб-ресурсу налаштувань за допомогою веб-браузера отримують файли гіпертекстової розмітки HTML, каскадних таблиць стилів CSS та скриптів JavaScript з логікою веб-ресурсу від найближче розташованого сервера з мінімальними часовими затримками. Схема розподілення запитів користувачів веб-інтерфейсу та мікроконтроллерів через сервіс Amazon CloudFront зображена на Рисунку 4.5.

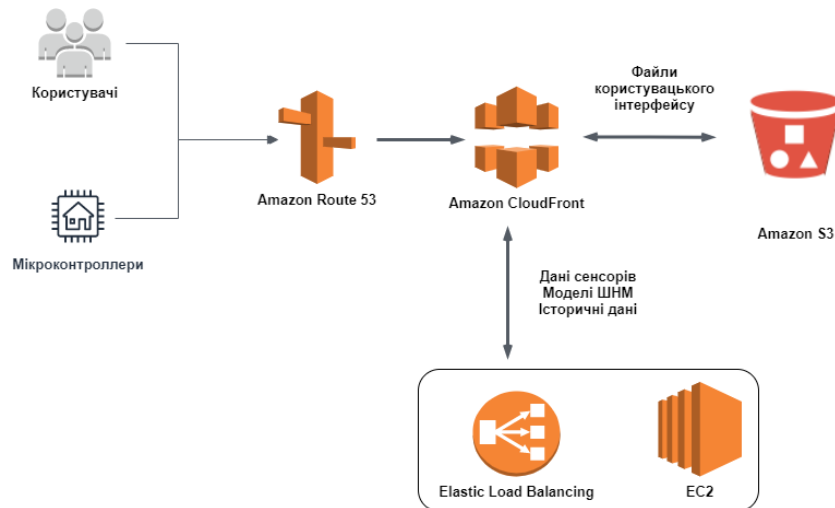


Рис. 4.5. Схема розподілення запитів користувачів веб-інтерфейсу та мікроконтролерів через сервіс Amazon CloudFront

Реалізація мережевої інфраструктури розробленої системи, реалізується використанням методів авторизації всіх мережевих запитів, що надходять до розгорнутої у «хмарі» системи ззовні по мережі Інтернет. Даними запитами можуть бути запити користувачів системи на отримання статичних файлів веб-ресурсу візуального інтерфейсу користувача; запитів користувачів на зміну налаштувань системи, що надсилаються веб-застосунком візуального інтерфейсу користувача; інформація, яка надходить від клієнтських частин системи з даними з датчиків про нові винекнені події у помешканнях, або запити на отримання оновлених моделей штучних неронних мереж, що створені на основі останньої версії бази історичних даних. Авторизація мережевих запитів відбувається на основі даних з заголовками Authorization, Credential та Signature протоколу HTTP. Заголовок Authorization містить інформацію про алгоритм, що був використаний для створення цифрового підпису. У заголовку Credential міститься ключ доступу та інформація, яка була використана для створення підпису. Ключ доступу перевіряється сервісом AWS Identity & Access Management на відповідність типу запиту до наданим його відправнику правам доступу. Заголовок Credential містить 256-розрядний підпис, представлений як 64 шістнадцятковими символами. Схема

авторизації груп користувачів системи через сервіс AWS Identity & Access Management зображена на Рисунку 4.6.



Рис. 4.6. Схема авторизації груп користувачів системи через сервіс AWS Identity & Access Management

Таким чином користувач без прав доступу чи не авторизований у системі мікроконтроллер Raspberry Pi не має можливості робити запити до серверної частини розробленої системи «розумного» будинку і отримуватиме вимогу авторизуватись у системі з дійсним електронним ключем доступу, які видаються користувачам системи особисто, або прошиваються у програмне забезпечення мікроконтроллера на стадії виробництва.

4.2 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 компонент клієнтської частини належать: модуль збору параметрів сенсорів, модуль перетворення параметрів, модуль головного контроллера, модель автоматизованого прийняття рішень, модуль збереження стану компонентів системи, модуль управління базою даних, модель комунікації з віддаленим сервером, модуль управління приладами.

До компонент серверної частини належать: модуль аналітики збережених даних, модель комунікації з клієнтськими частинами, модуль головного контроллера, 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 компонент розробленої системи «розумного» будинку зображена на Рисунку 4.7.

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 контроллера. Контроллер 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 4.8.

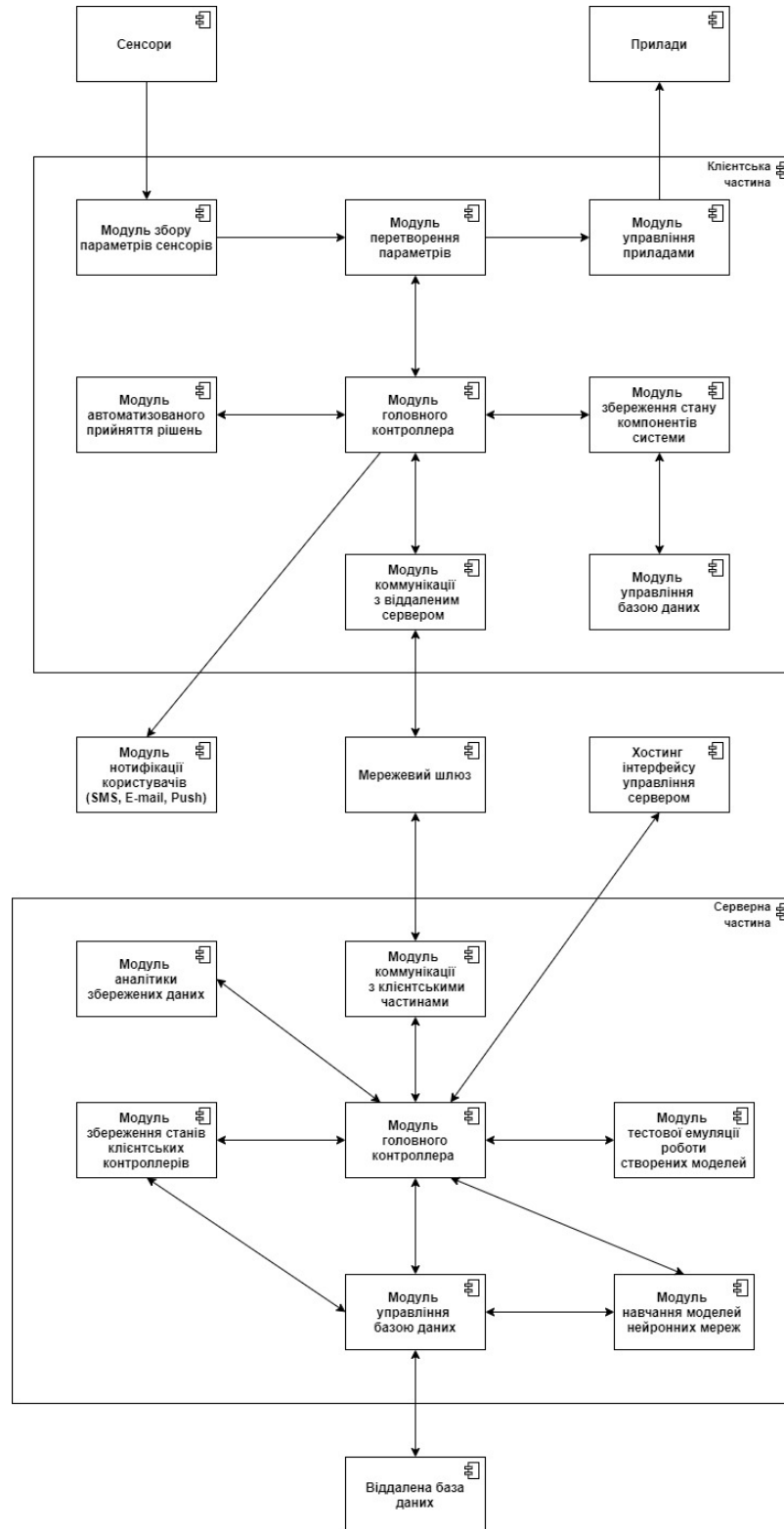


Рис. 4.7. Діаграма компонент розробленої системи «розумного» будинку

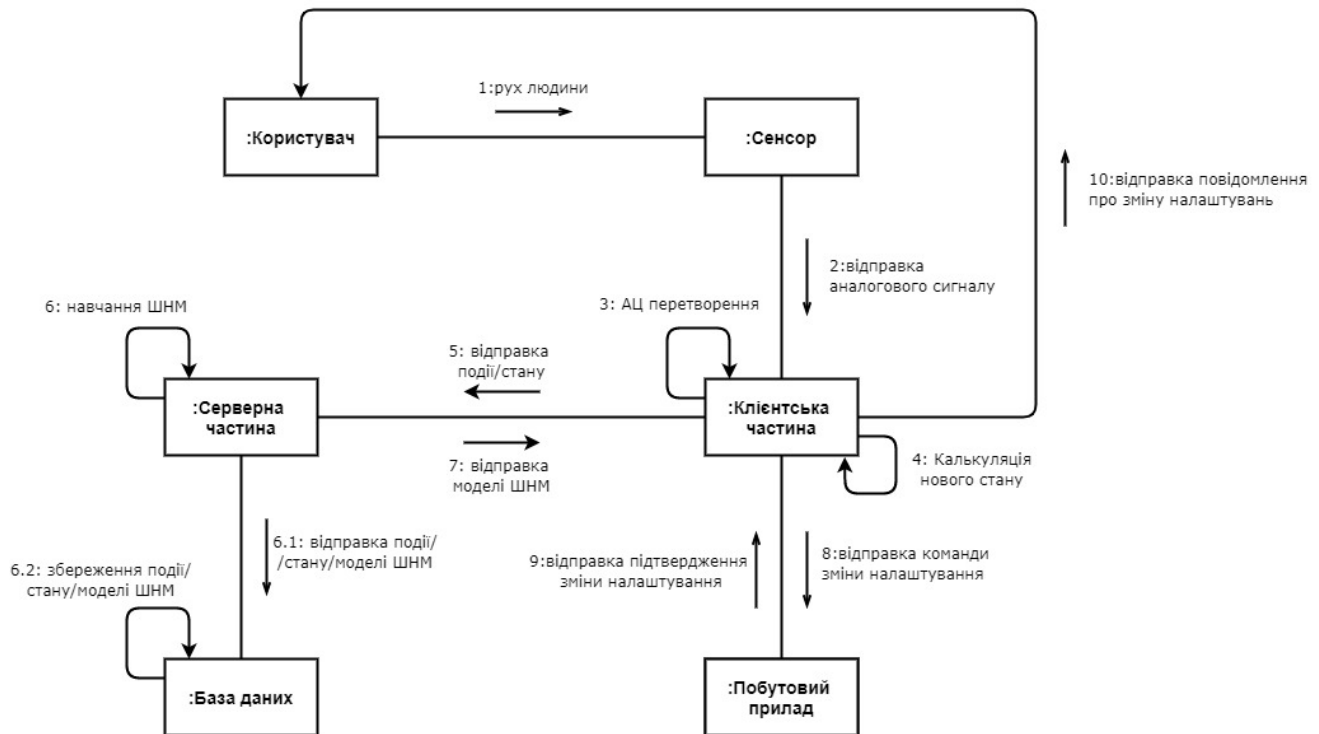


Рис. 4.8. Діаграма комунікацій компонентів розробленої системи

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 4.9.

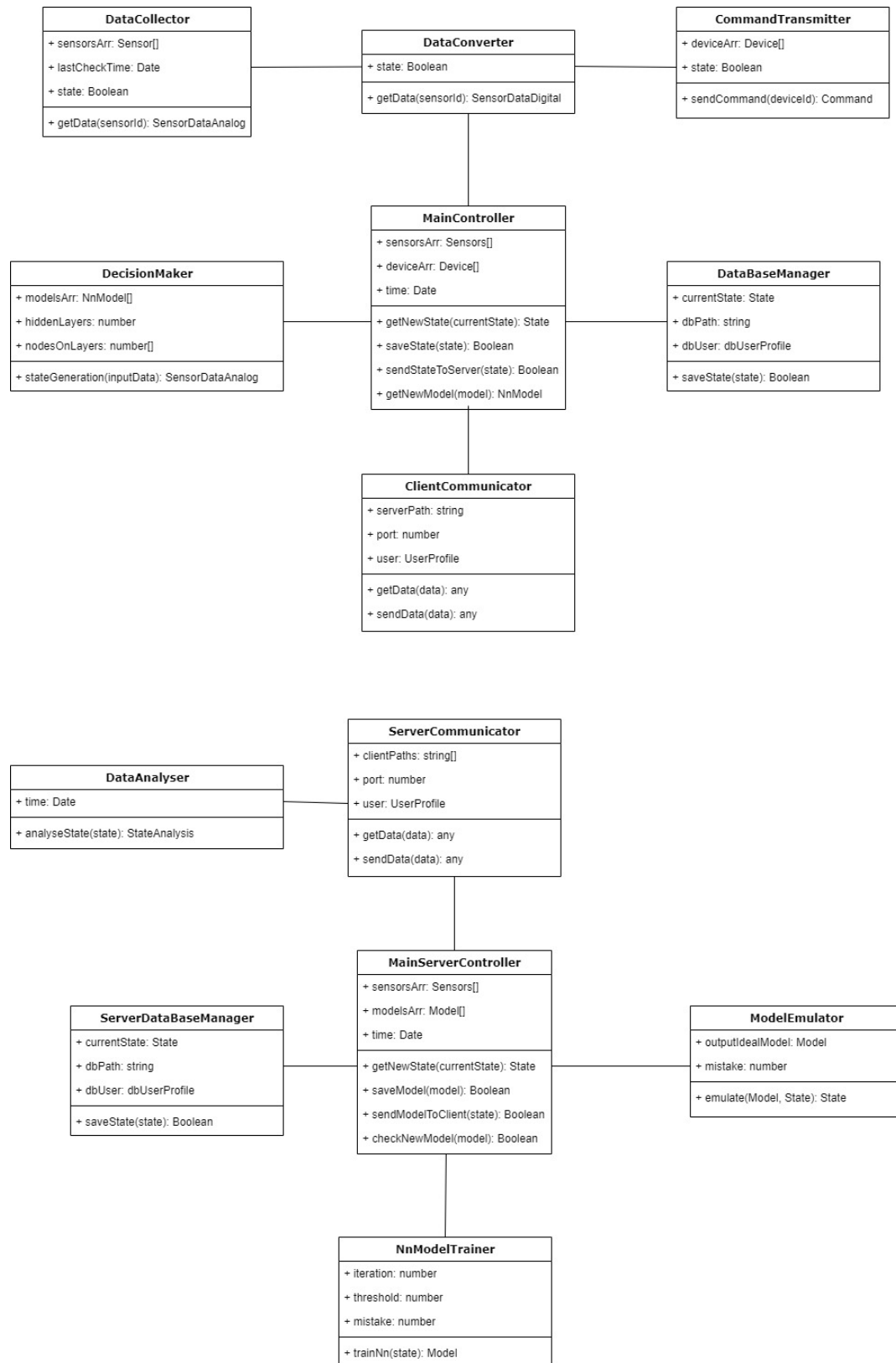


Рис. 4.9. Діаграма класів клієнтської та серверної частини розробленої системи «розумного» будинку

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 4.10.

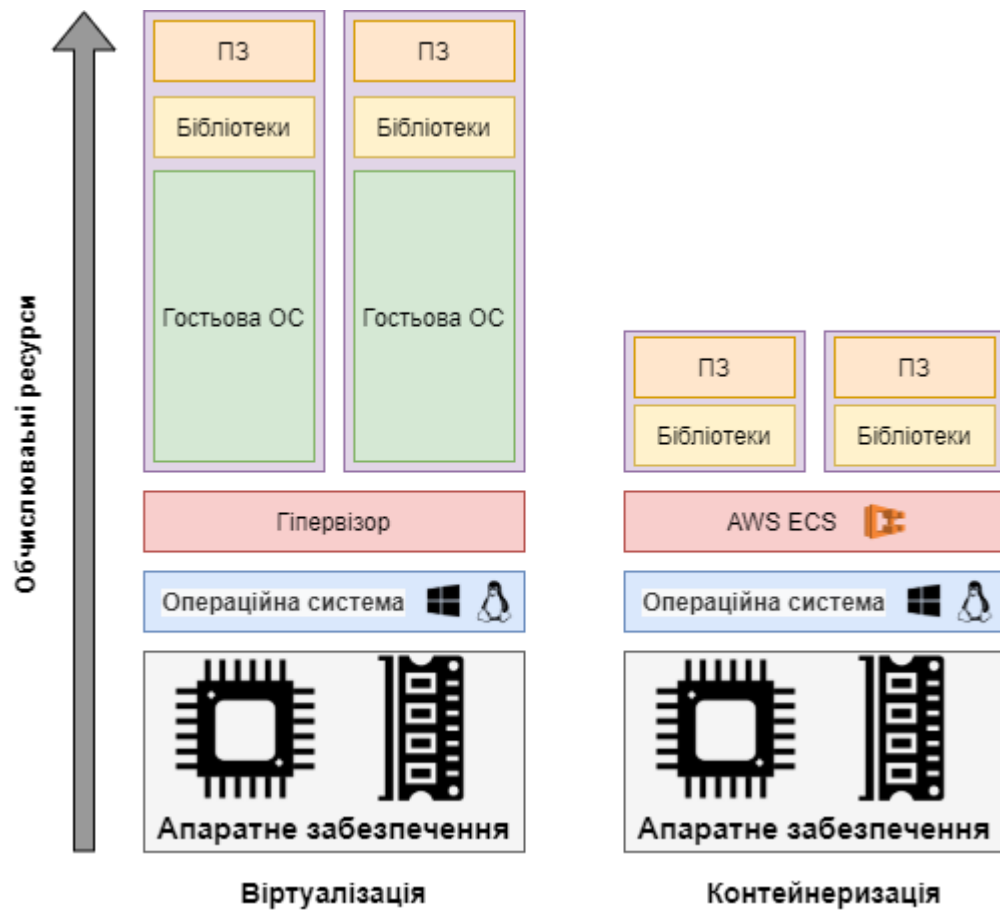


Рис. 4.10. Схема порівняння кількості програмних обчислювальних ресурсів при використанні класичної віртуалізації та контейнеризації

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 4.11.

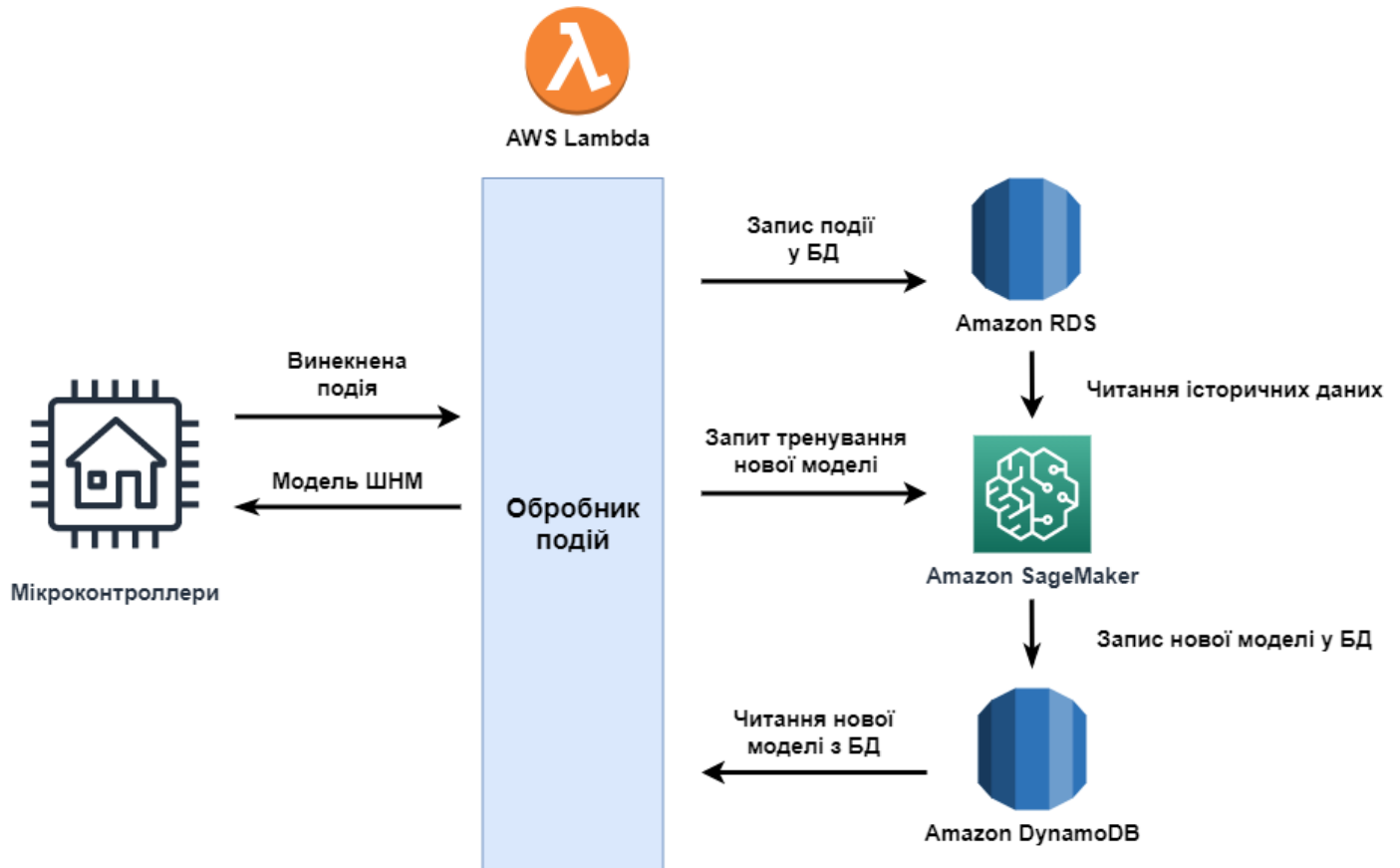


Рис. 4.11. Схема взаємозв'язків сервісу Amazon SageMaker з сервісами AWS

4.3 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 4.12.

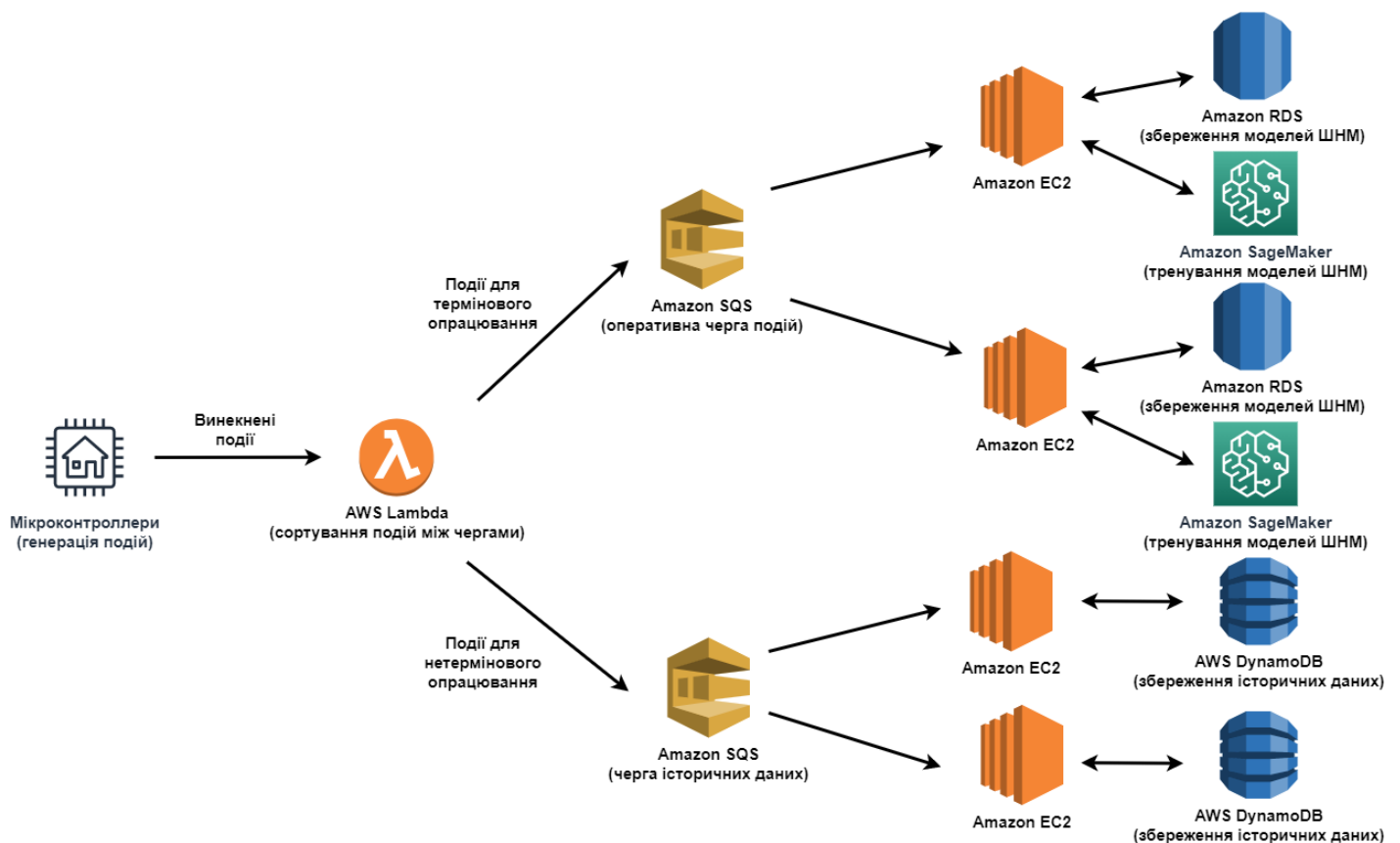


Рис. 4.12. Схема розподілу подій між чергами подій у системі «розумного» будинку

Діаграма об'єктів оперованих даних розробленою системою «розумного» будинку зображена на Рисунку 4.13.

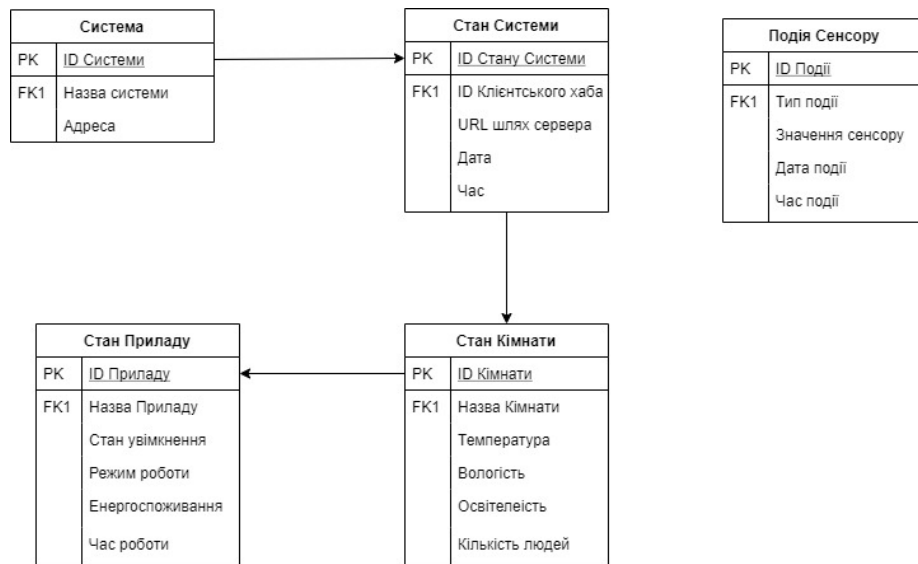


Рис. 4.13. Діаграма об'єктів оперованих даних розробленою системою «розумного» будинку

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 4.14).

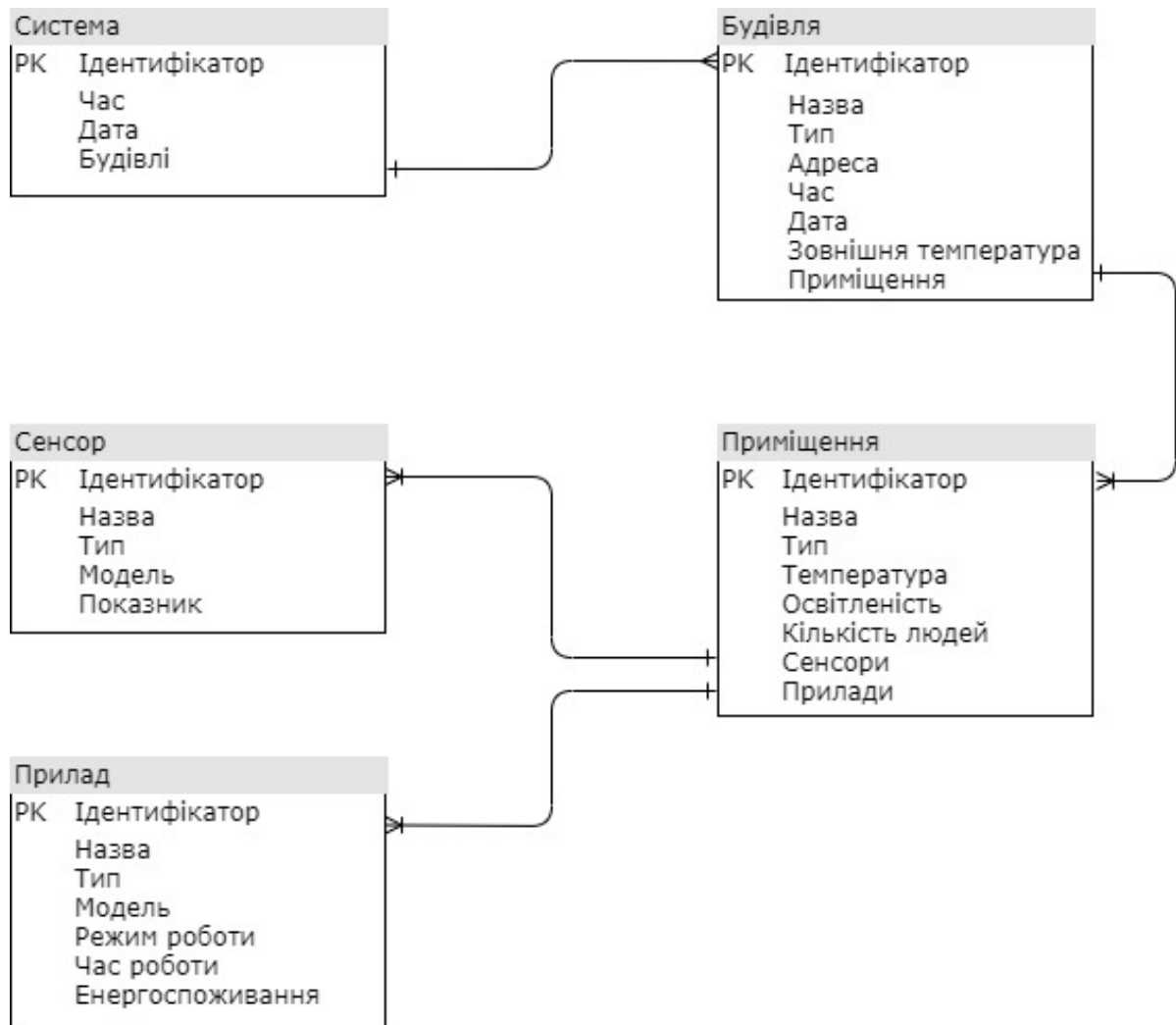


Рис. 4.14. Діаграма структури бази даних розробленої системи «розумного» будинку

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 4.1.

Таблиця 4.1.

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.

4.4 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 4.15.

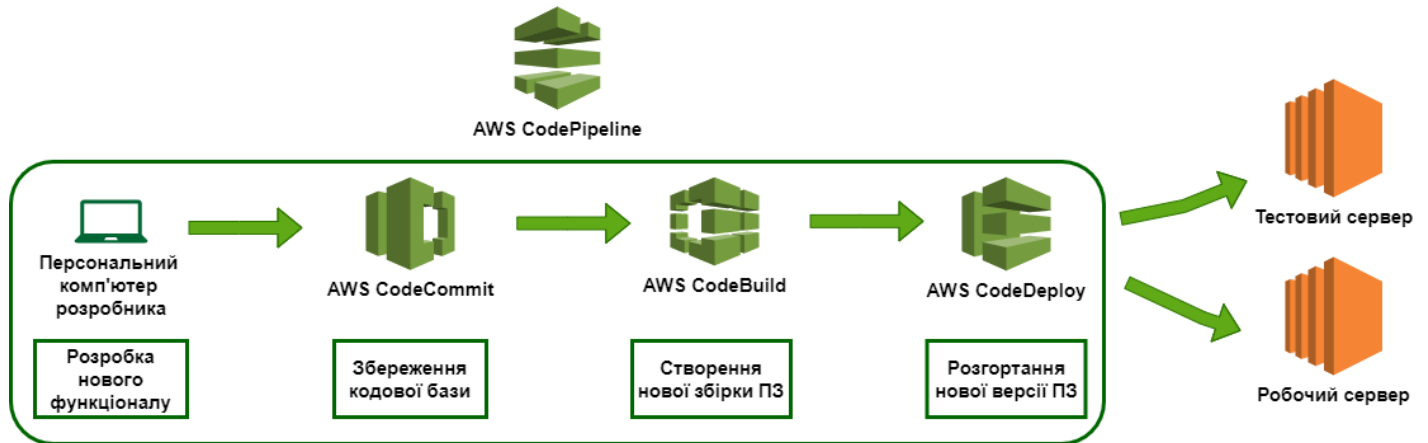


Рис. 4.15. Стадії проходження програмного коду через сервіси AWS для завершального етапу розгортання на серверах

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 4.16.

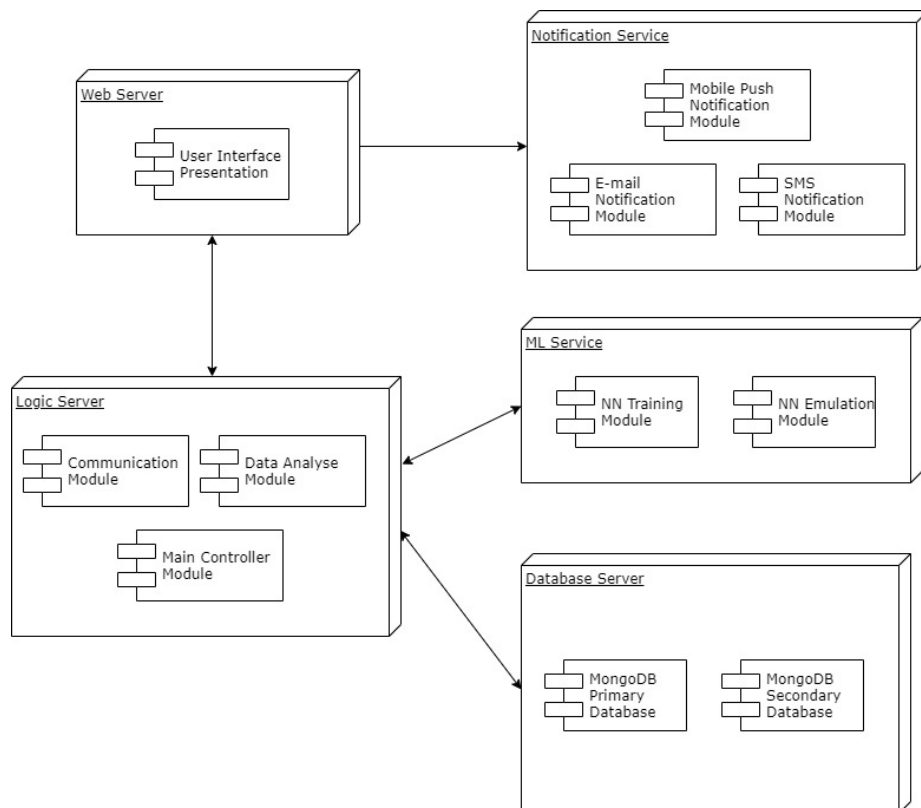


Рис. 4.16. Діаграма розгортання розробленої системи «розумного» будинку

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

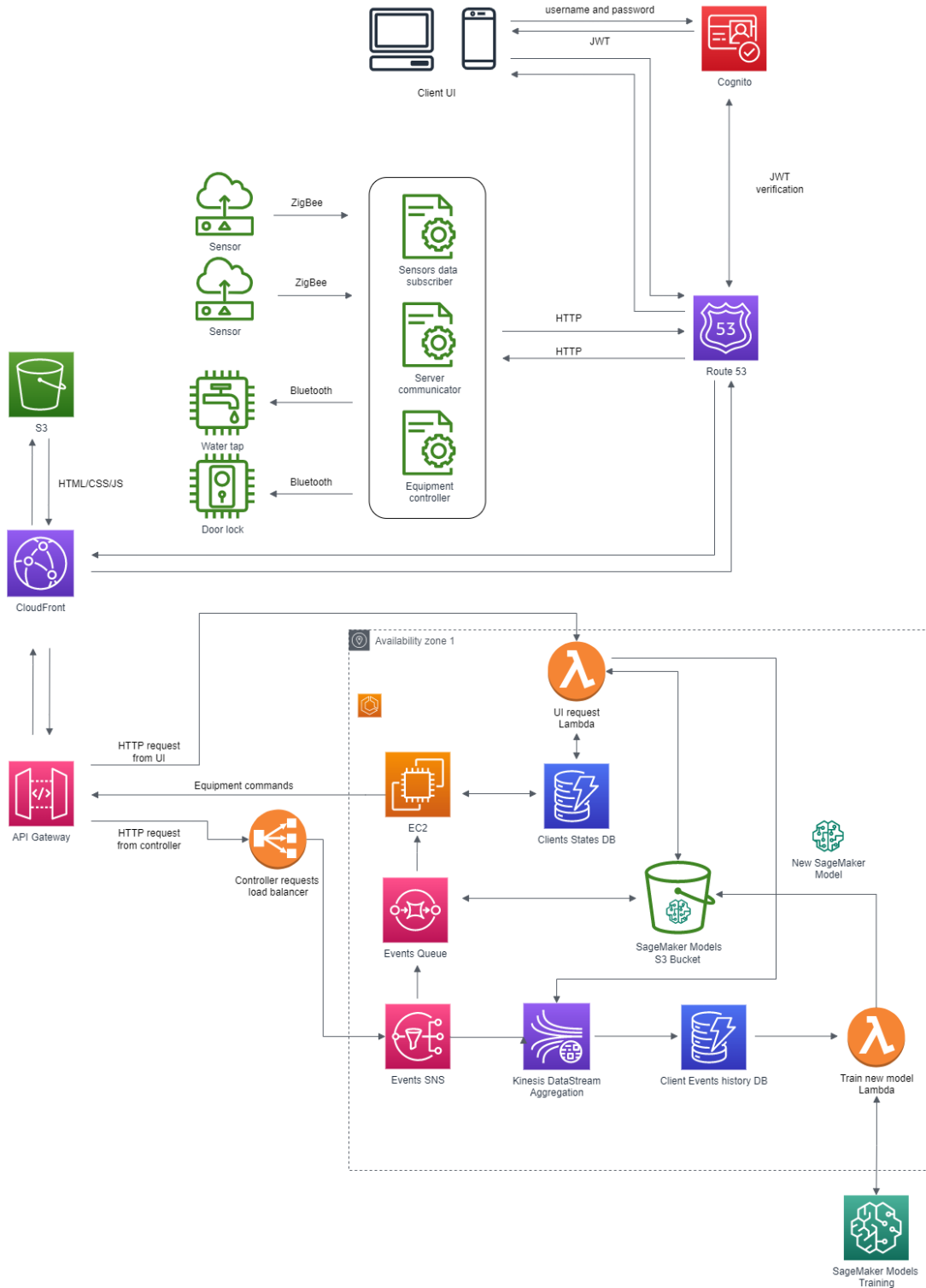


Рис. 4.17. Діаграма архітектурного рішення розробленої системи «розумного» будинку на основі платформи хмарних обчислень Amazon Web Services (AWS)

4.5 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 4.18.

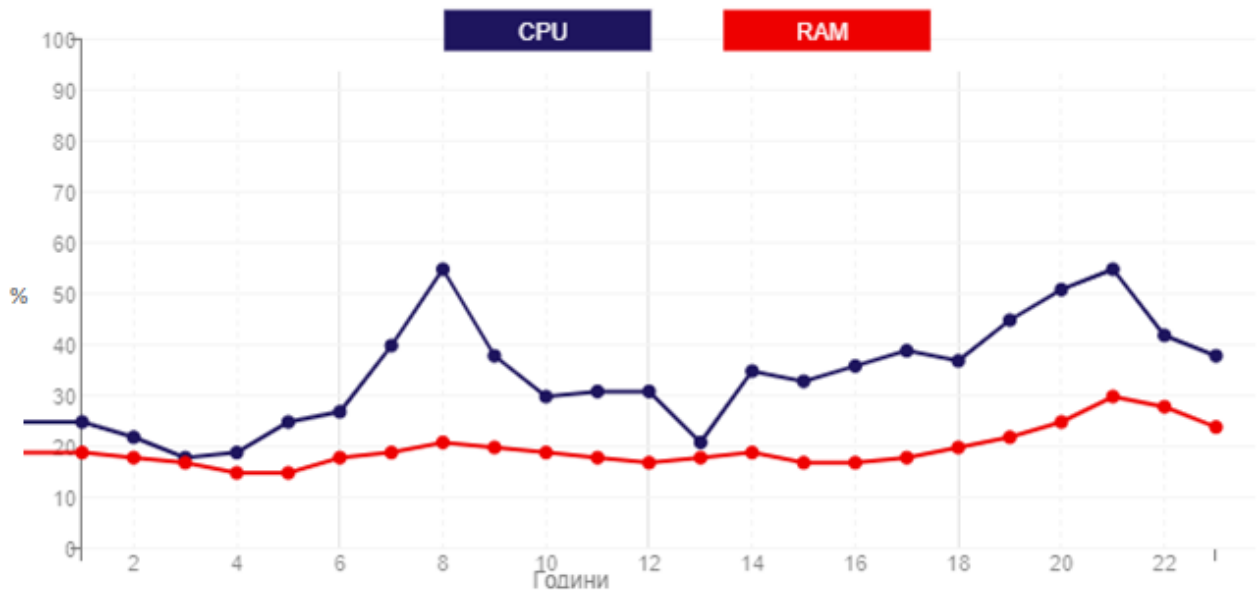


Рис. 4.18. Графіки середньогодинного навантаження мікроконтролера

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 4.19.

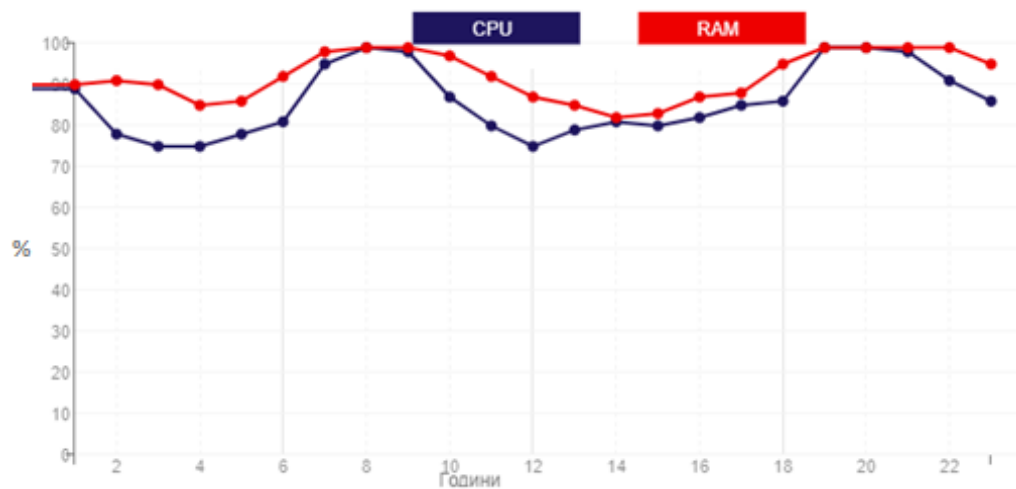


Рис. 4.19. Графіки середньогодинного навантаження мікроконтроллера під час процесу навчання моделей штучних нейронних мереж

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 4.20.

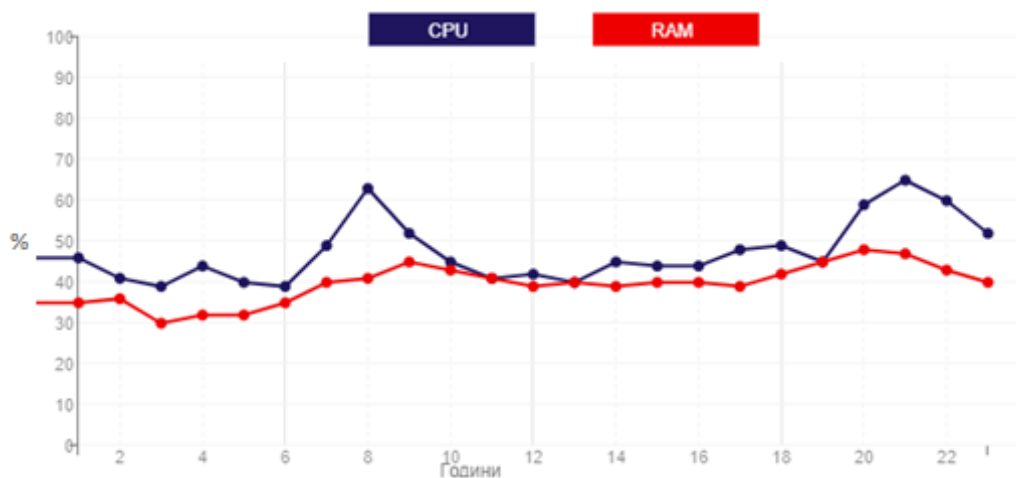


Рис. 4.20. Графіки середньогодинного навантаження мікроконтроллера під час процесу навчання моделей штучних нейронних мереж на стороні віддаленого сервера

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 котроллера 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 4.21):

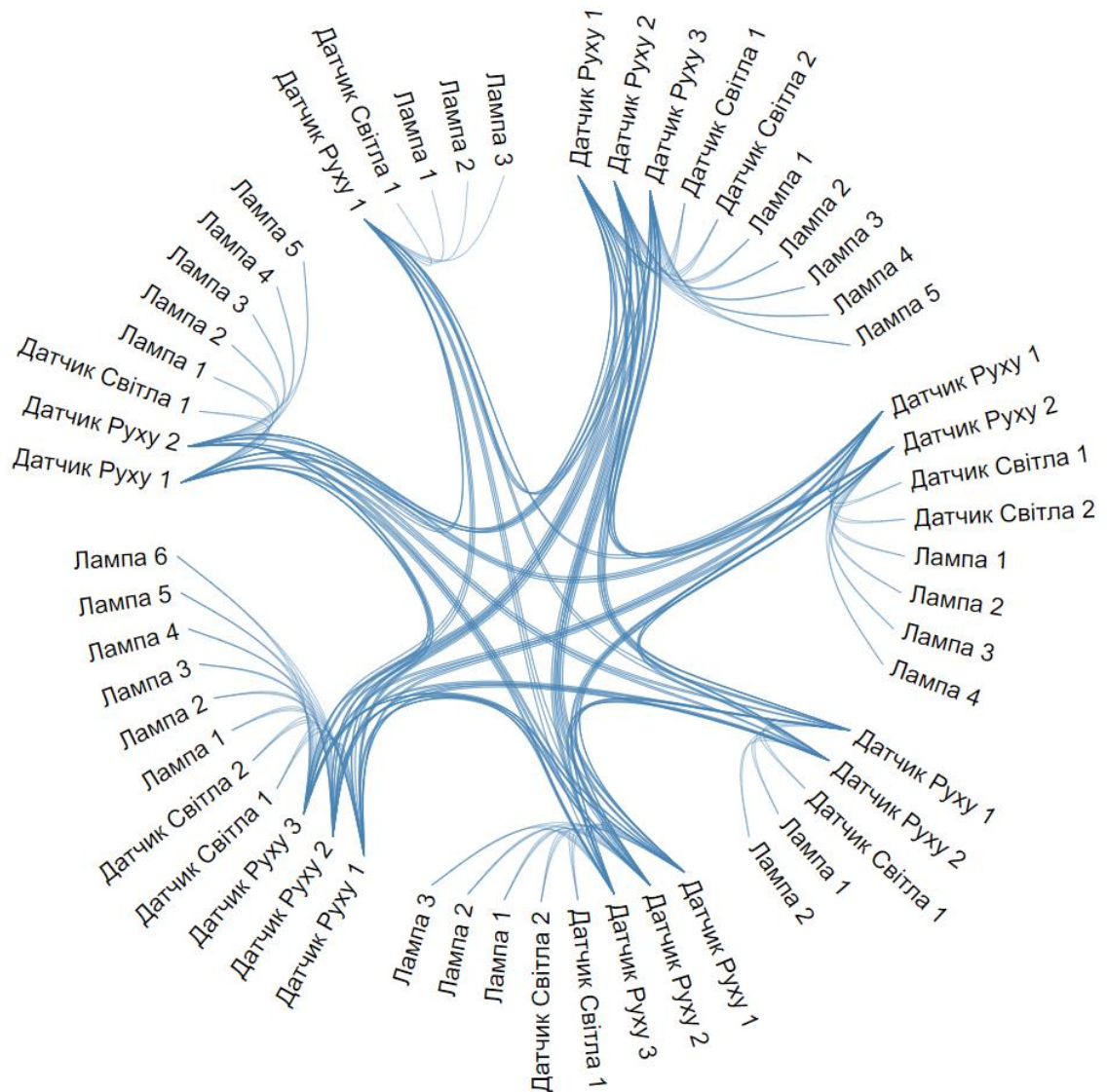


Рис. 4.21. Діаграма зв'язків між давачами та приладами

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 4.22):

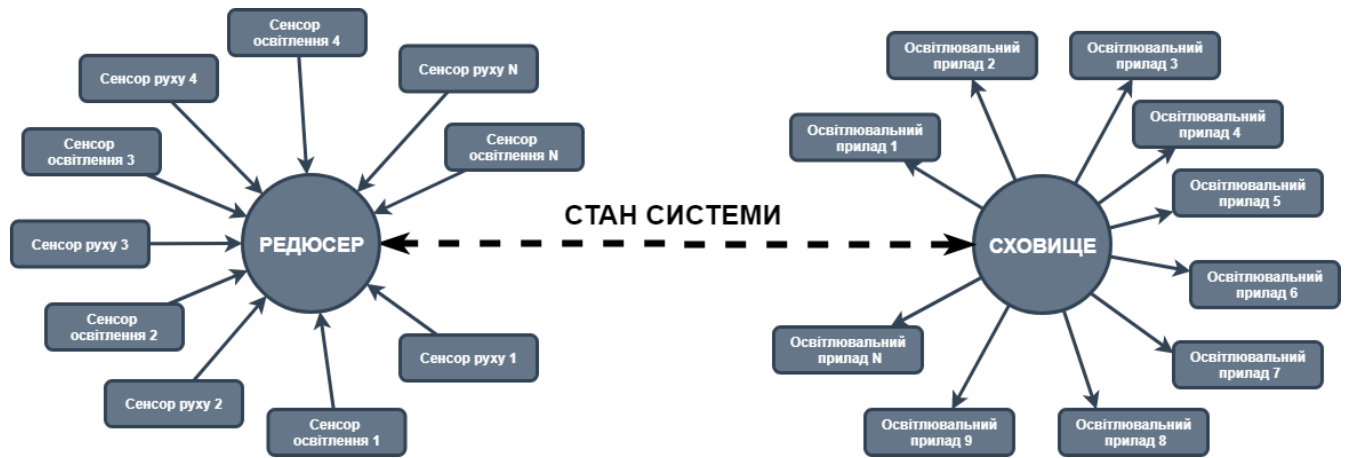


Рис. 4.22. Діаграма зв'язків при використанні архітектурного шаблону Redux

Аналіз швидкодії роботи роглянутої 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 4.23.

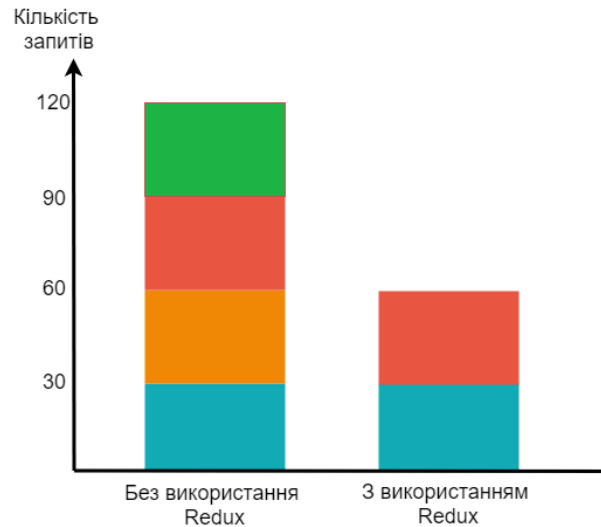


Рис. 4.23. Результати порівняння кількостей запитів між компонентами проєктованої системи

Порівняння швидкості оновлення загального стану системи при прямій взаємодії компонентів системи між собою та при використанні архітектурного шаблону Redux зображене на Рисунку 4.24.

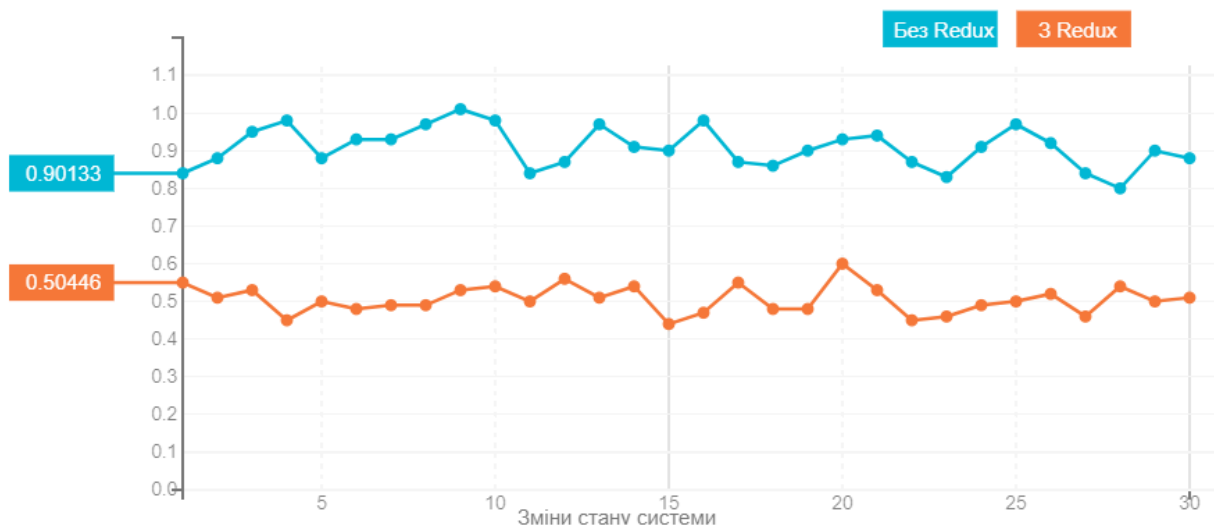


Рис. 4.24. Порівняння швидкості оновлення загального стану системи

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 4.25.

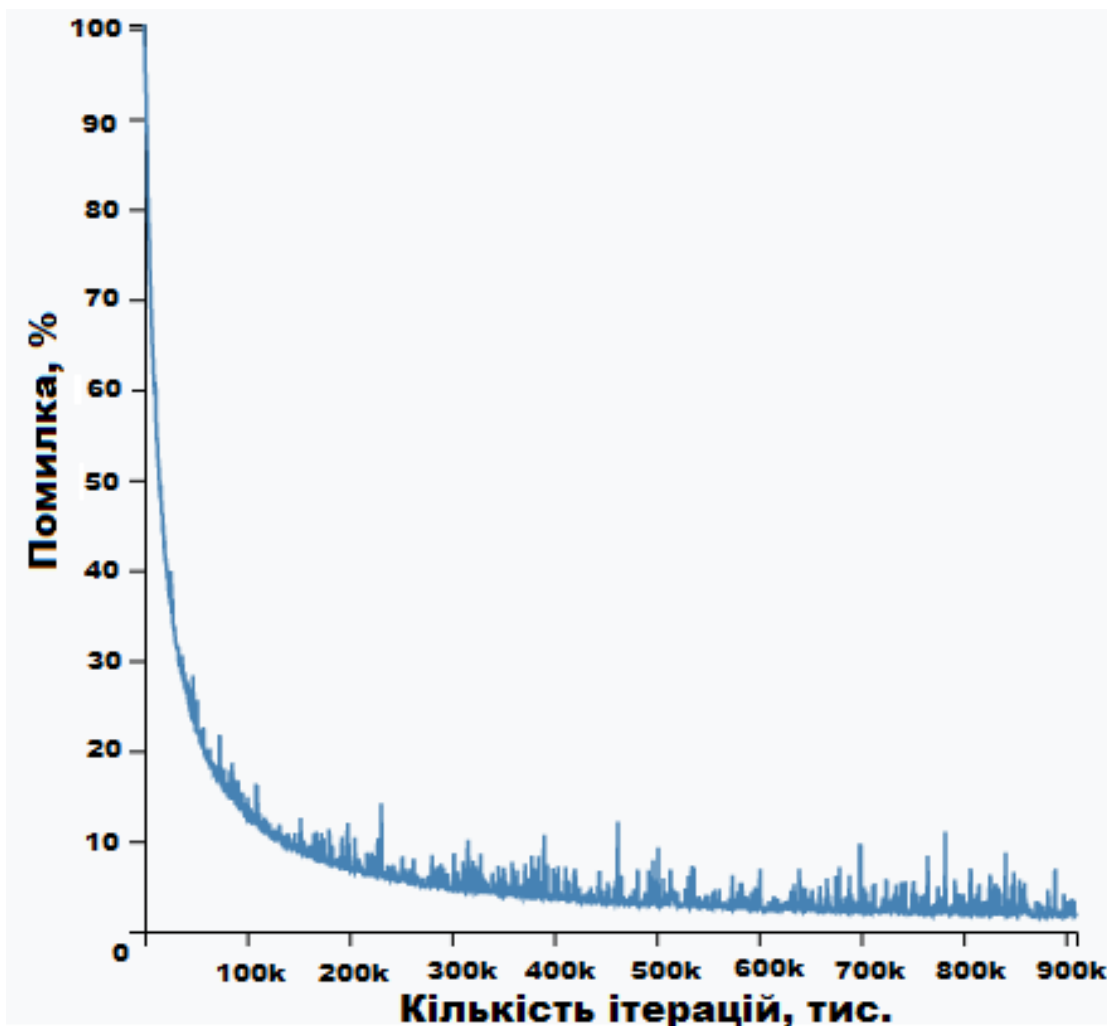


Рис. 4.25. Значення похибок вихідних даних під час навчання нейронної мережі

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 в цілому відповідно до наданих параметрів на вході ШНМ. Візуальне зображення отриманої похибки роботи системи при зміні налаштувань ШНМ напряму зображений на Рисунку 4.26.



Рис. 4.26. Значення похибок роботи системи при зміні налаштувань ШНМ напряму

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 напряму керувати налаштуваннями приладів. Візуальне зображення отриманих похибок роботи системи з використанням ієрархічних мереж Петрі зображений на Рисунку 4.27.



Рис. 4.27. 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%.

4.6 Висновки до розділу 4

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 дисертаційній 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.
- Результати виконаного дослідження запроваджено в процесі розробки перспективних радіоелектронних систем в Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України.

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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1080/02763869.2018.1404391).
5. Smart Homes and Home Automation [Електронний ресурс] // Berg Insight AB. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <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 (TENSymp)*, 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, Souso 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, Jiezhao & 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. – Режим доступа до ресурсу: 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]. Access mode: <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/54129/1/URN%3ANBN%3Afi%3Ajyu-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.

Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
 Заст. директора з наукової діяльності
 Фізико-механічного інституту
 ім. Г.В. Карпенка НАН України
 М. Андрейко
 “ 10 ” _____ 2021 р.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
КАЗАРЯНА АРТЕМА ГЕННАДІЙОВИЧА
 «Методи та засоби управління системою “розумного” будинку з
 використанням хмарних обчислень»

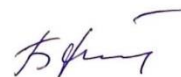
Даним актом засвідчується, що наступні наукові результати, отримані Казаряном А.Г. в дисертаційній роботі «Методи та засоби управління системою “розумного” будинку з використанням хмарних обчислень», впроваджені в процесі розробки перспективних радіоелектронних систем, а саме:

- метод розроблення забезпечення, що ґрунтується на використанні моделі SaaS, що дає змогу зменшити вартість та збільшити швидкодію роботи систем управління ;
- метод опрацювання великих баз даних на основі архітектурного шаблону Redux, що пришвидшує та збільшує надійність опрацювання подій у системах управління;

Отримані в дисертаційній роботі результати представляють практичну цінність при розробленні програмно-апаратних засобів для автоматизації синтезу мікроконтролерних систем. Запропоновані методи порівняно з відомими відзначаються ефективністю та високою точністю, що дозволяє застосувати їх для автоматизованого синтезу мікроконтролерних систем і уникати, при цьому, дорогих та довготривалих фізичних експериментальних досліджень та випробувань.

Даний акт не є основою для проведення фінансових взаєморозрахунків.

Завідувач відділу інформаційних
 технологій дистанційного зондування
 Фізико-механічного інституту
 ім. Г.В. Карпенка НАН України,
 д.т.н., проф.



Б.П. Русин

Список публікацій здобувача за темою дисертації

1. Teslyuk V., Kazarian A., Kryvinska N., Tsmots I. Optimal artificial neural network type selection method for usage in smart house systems. *Sensors*. 2021. Vol. 21, iss. 1. 47.
2. Holovatyu A., Teslyuk V., Kryvinska N., Kazarian A. Development of microcontroller-based system for background radiation monitoring. *Sensors*. 2020. Vol. 20, iss. 24. 7322.
3. Теслюк В. М., Казарян А. Г. Вибір оптимального типу штучної нейронної мережі для автоматизованих систем “розумного” будинку. *Науковий вісник НЛТУ України*. Т. 30, № 5. С. 90–93.
4. Казарян А. Г., Теслюк В. М. Розробка моделі керування приладами системи “розумний” будинок з використанням мережі Петрі та алгоритму штучної нейронної мережі. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 86. С. 126–135.
5. Теслюк В. М., Казарян А. Г., Казимира І. Я. Опрацювання даних у системах “розумного” будинку з використанням моделей на підставі мереж Петрі. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, № 1. С. 131–136.
6. Теслюк В. М., Цмоць І. Г., Казарян А. Г., Теслюк Т. В. Метод проектування систем “розумного” будинку з використанням архітектурного шаблону Redux. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 7. С. 146–150.
7. Kazarian A., Beregovska K., Teslyuk V. Data analysis model and forms of cloud analytical functions for “smart” house systems. *Information and innovation technologies in economics and administration : monograph / ed. by O. Chukurna, M. Gawron-Łapuszek*. Katowice, 2019. P. 17–27.
8. Kazarian A., Teslyuk V., Tsmots I., Greguš J. Development of a «smart» home system based on the modular structure and architectural data flow pattern Redux. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 155. P. 35–42.
9. Kazarian A., Teslyuk V., Tsmots I., Tykhan M. Implementation of the face recognition module for the “smart” home using remote server. *Advances in Intelligent Systems and*

- Computing. 2019. Vol. 871: Advances in Intelligent Systems and Computing III. Selected papers from the International conference on computer science and information technologies, CSIT 2018, September 11-14, Lviv, Ukraine. P. 17–27.
10. Казарян А. Г., Теслюк В. М., Машевська М. В. Розроблення системи керування базою даних системи "розумного" будинку. Моделювання та інформаційні технології. 2018. Вип. 84. С. 184–190.
 11. Kazarian A., Teslyuk V., Tykhan M., Mashevskaya M. Usage of SaaS software delivery model in intelligent house systems. *Przeegląd elektrotechniczny*. 2019. Vol. 95, Nr 7. S. 38–41.
 12. Казарян А. Г., Теслюк В. М., Коваль В. Я. Використання функції розпізнавання облич для контролю доступу користувачів та автоматизованого управління налаштувань приладів "розумного" будинку. Моделювання та інформаційні технології. 2018. Вип. 83. С. 180–185.
 13. Kazarian, V. Teslyuk, I. Tsmots and M. Mashevskaya, "Units and structure of automated "smart" house control system using machine learning algorithms," 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), Lviv, 2017, pp. 364-366, doi: 10.1109/CADSM.2017.7916151.
 14. K. Artem and T. Vasyl, "Structure and model of the smart house security system using machine learning methods," 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, 2017, pp. 105-108, doi: 10.1109/AIACT.2017.8020076.
 15. K. Artem, T. Ivan and T. Vasyl, "Intelligent house as a service and its practical usage for home energy efficiency," 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2017, pp. 220-223, doi: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098773.
 16. Казарян А. Г., Теслюк В. М. Розробка програмного ядра спеціалізованих систем інтелектуального управління приладами // Проблеми та перспективи розвитку

- економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні : збірник тез доповідей XIV Науково-практичної конференції (Львів, 17-20 квітня 2018 р.). – 2018. – С. 11–12.
17. K. Artem, N. Kunanets, R. Holoshchuk, V. Pasichnik and A. Rzhеuskyi, "Information Support of the Virtual Research Community Activities Based on Cloud Computing," 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2018, pp. 199-202, doi: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526685.
 18. 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.
 19. Artem K., Holoshchuk R., Kunanets N., Shestakevysh T., Rzhеuskyi A. (2019) Information Support of Scientific Researches of Virtual Communities on the Platform of Cloud Services. In: Shakhovska N., Medykovsky M. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing III. CSIT 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 871. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01069-0_22
 20. Kazarian, A., Kunanets, N., Pasichnyk, V., Veretennikova, N., Rzhеuskyi, A., Leheza, A., & Kunanets, O. (2019). Complex Information E-Science System Architecture based on Cloud Computing Model. *CEUR Workshop Proceedings*, 2019, 2362
 21. Teslyuk, V., Kazarian, A., Kryvinska, N., Tsmots, I., Teslyuk, T. Automated synthesis method of smart home systems based on the architectural pattern redux. *CEUR Workshop Proceedings*, 2019, 2533, pp. 58–69
 22. A. Kazarian and V. Teslyuk, "Optimization of Neural Network Structure for Smart House Systems," 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 562-565, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879772.