

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету
«Львівська політехніка»
д.т.н., проф. Цмоцю Івану Григоровичу

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

доктора технічних наук, професора **Назаркевич Марії Андріївни**
на дисертаційну роботу **Береговської Христини Василівни** на тему
«Інформаційна технологія управління адаптивною системою розумного будинку»,
подану до захисту на здобуття наукового ступеня **доктора філософії**
з галузі знань 12 «Інформаційні технології»
та спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації. Однією з ключових характеристик сучасного суспільного розвитку є інтенсивне прискорення темпів життєдіяльності. Це зумовлює зростаючу потребу в раціоналізації використання робочого часу з метою підвищення його ефективності, а також у розширенні можливостей для особистісного розвитку, відпочинку та самореалізації. Важливим інструментом досягнення зазначеного балансу є автоматизація процесів різного характеру – як виробничих, так і побутових – що органічно інтегровані в щоденну діяльність людини.

Реалізацією ідеї автоматизації побуту є системи «розумний будинок» (РБ), які покликані не лише полегшити виконання рутинних дій, а й підвищити рівень енергоефективності, безпеки та загального комфорту користувача. У рамках цієї дисертаційної роботи основна увага зосереджена на реалізації функції вивільнення продуктивного часу користувача за рахунок інтелектуалізації процесів керування побутовими пристроями.

Попри те, що концепція «розумного будинку» була сформульована ще в 1950-х роках у США, вона й досі залишається предметом активних досліджень та практичної реалізації. Це зумовлено високою складністю таких систем, що потребують динамічної адаптації до індивідуальних характеристик середовища та користувача, а також постійного удосконалення та переналаштування алгоритмів керування. Зазначені аспекти визначають підвищені вимоги до проєктування, розробки та технічного супроводу систем «розумного будинку», особливо з огляду на інтеграцію сучасних інформаційних технологій і засобів автоматизації.

Попри суттєвий прогрес у сфері автоматизації житлового простору, сучасні комерційні рішення здебільшого не реалізують повноцінної поведінкової адаптації користувача. У більшості випадків застосовуються статичні сценарні моделі управління, які не враховують стохастичну природу змін у поведінці мешканців. Такий підхід істотно обмежує функціональність систем розумного будинку, особливо в контексті прогнозування користувацьких дій та забезпечення динамічного адаптивного реагування на них.

Незважаючи на активний розвиток технологій «розумного будинку», на сьогодні відсутні усталені методи та засоби моделювання таких систем, які б дозволяли формалізовано та кількісно описувати взаємодію з користувачем, враховуючи ймовірнісний характер подій. Особливо актуальним є завдання розроблення моделей, здатних ініціювати дії ще до фактичного настання відповідних подій – тобто діяти проактивно. Реалізація таких підходів є передумовою створення систем нового класу – адаптивних, навчальних, здатних ефективно співпрацювати з користувачем і діяти на випередження.

Таким чином, розроблення інформаційної технології управління адаптивною системою розумного будинку на основі формалізованих стохастичних моделей, зокрема мереж Петрі-Маркова, є актуальною науковою задачею, розв'язання якої дасть змогу підвищити якість та функціональність сучасних автоматизованих побутових систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалася відповідно до пріоритетних напрямів науково-дослідних робіт Національного університету «Львівська політехніка» та відповідно до координаційних планів Міністерства освіти й науки України. Зокрема, наукові дослідження виконувалися в рамках держбюджетних наукових тем кафедри автоматизованих систем управління: «Інтелектуальні інформаційні технології багаторівневого управління енергоефективністю регіону» (номер державної реєстрації 0117U004450, роки виконання: 2017-2018); «Методи та засоби нейронечіткого управління групою мобільних робототехнічних платформ» (номер державної реєстрації: 0123U101688, роки виконання: 2023-2024); «Методи та засоби інтелектуального вимірювання параметрів руху та визначення просторової орієнтації наземних мобільних робототехнічних платформ» (номер державної реєстрації: 0124U000822, роки виконання: 2024-2026).

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що автором:

вперше розроблено:

– моделі для системи управління розумним будинком, які використовують теорію мереж Петрі-Маркова та доповнених функціональними компонентами, що дає змогу реалізувати сценарії функціонування та функцію адаптації системи управління розумним будинком до поведінки та вимог його власника;

– метод навчання моделей для системи управління розумним будинком, який використовує розроблені режими збору даних (ручний, автоматизований, автоматичний) та етапи опрацювання статистичної інформації та подальше налаштування моделей, що дає змогу здійснити адаптацію розроблених моделей до поведінки користувача;

вдосконалено метод синтезу моделей для системи управління розумним будинком, який використовує теорію мереж Петрі-Маркова та розроблені алгоритми, що дає змогу автоматизувати процес побудови адаптивних моделей;

отримала подальший розвиток модель для системи управління, яка, на відміну від існуючих, використовує теорію стохастичних мереж Петрі та дає змогу врахувати випадкові процеси та стани складових розумного будинку.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків дисертації та їх достовірність. Викладені у дисертації наукові положення, висновки і рекомендації є чітко аргументованими та обґрунтованими. Поставлену мету досягнуто, а завдання виконано належним чином. Обґрунтованість наукових положень дисертації забезпечується використанням загальнонаукових та спеціальних методів дослідження. Форма представлення результатів дослідження свідчить про належну теоретичну підготовку дисертантки, її вміння працювати з науковим матеріалом.

При вирішенні поставлених у дисертації задач, формуванні наукових положень, висновків та рекомендацій застосовані дані, які одержані з літературних джерел, з результатів аналізу сучасного стану та перспектив розвитку моделей для системи управління розумним будинком, а також, базуючись на практичному виробничому досвіді автора дисертації у розробці та аналізі моделей для системи управління. Тому наведені в дисертації результати слід вважати достатньо обґрунтованими, про що, зокрема, свідчать проведені експериментальні дослідження та практичні результати, підтверджені відповідними актами впроваджень.

Наукове значення виконаного дослідження. Наукові положення, висновки і рекомендації, наведені у дисертаційній роботі, у сукупності можна кваліфікувати як внесок здобувачки у подальший розвиток наукових досліджень у сфері інформаційних технологій управління адаптивною системою розумного будинку.

Зокрема, авторкою розроблено інформаційну технологію управління адаптивною системою РБ, яка побудована на основі моделей Петрі-Маркова, доповнених функціональними компонентами. Розроблена структура забезпечує опрацювання вхідних даних від сенсорів, оцінювання ймовірностей переходів між станами та ініціалізацію керуючих дій, базуючись на адаптивному сценарному

підході. Розроблений алгоритм функціонування та структура спеціалізованого мікроконтролера моніторингу та ймовірнісного прогнозування зміни станів систем «Розумний будинок», що забезпечує автоматичний моніторинг проектованої системи РБ, зчитування вхідної інформації від сенсорів а також автоматичне надсилання керуючих сигналів до актуаторів, з паралельною обробкою та збереженням всієї цієї інформації в базі даних статистики в якості вхідних даних для розробленої автоматизованої програмної системи адміністрування та моніторингу систем «Розумний будинок». Розроблене технічне забезпечення контролера адаптивної системи РБ, яке базується на використанні мікроконтролера STM8, що забезпечує низьку ціну пристрою та можливість зміни функціональності мікроконтролера. Розроблене програмне забезпечення адаптивної системи РБ, яке реалізовано на мові Assembler мікроконтролера STM8, що забезпечує високу швидкодію функціонування пристрою. Розроблена автоматизована програмна система адміністрування та моніторингу систем РБ, призначена для зчитування вхідної інформації від мікроконтролера моніторингу та ймовірнісного прогнозування зміни станів систем РБ або з зовнішнього архівного файлу для моделювання конкретних сценаріїв, або ж вхідного потоку в режимі онлайн, здійснюючи таким чином моніторинг проектованої системи РБ. В розробленій системі реалізована можливість адміністрування основних параметрів системи.

Результати дослідження, а саме: оцінка якості адаптивної класифікаційної моделі відповідно до метрик, описаних у ISTQB CT-AI; параметри моделювання, які демонструють здатність системи до випереджального реагування та графі досяжності станів розроблених моделей, які демонструють скінченність і досяжність усіх станів та дають змогу дослідити динаміку функціонування моделей.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені в навчальний процес кафедри автоматизованих систем управління Національного університету

«Львівська політехніка» для викладання наступних дисциплін: «Основи смарт-технологій і систем» та «Моделювання процесів і смарт-систем».

Отже, отримані в дисертації результати є значущими для галузі 12 «Інформаційні технології» та спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Повнота оприлюднення результатів дисертаційної роботи. Результати дисертаційної роботи Береговської Х.В. доповідалися і обговорювалися на 14 міжнародних наукових та науково-технічних конференціях. Матеріали дисертації неодноразово доповідалися та обговорювалися на наукових семінарах кафедри автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка».

Основні наукові результати дисертації опубліковано в 25-ти працях, зокрема: дев'ять статей – у наукових фахових періодичних виданнях України; дві статті – у наукових періодичних виданнях інших держав; чотирнадцять публікацій – у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій.

Короткий аналіз структури та змісту дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 101 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 180 сторінок, з них 159 сторінок основного тексту, який містить 54 рисунки та 8 таблиць.

У вступі дисертації обґрунтовано вибір теми дослідження, визначено мету, основні завдання, об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів дослідження, відображено їх апробацію та особистий внесок здобувачки.

У першому розділі «Аналіз моделей, методів і засобів інформаційних технологій управління системами “Розумний будинок”» виконано комплексний огляд підходів до побудови та моделювання сучасних «розумних» систем, їх основні функції та властивості. Досліджено переваги та недоліки ряду актуальних методів проєктування – класичних структурних (SADT, IDEF0, SSADM) та сучасних – імітаційних, аналітичних, інтелектуальних. Обґрунтовано, що існуючі

методи не здатні забезпечити повноцінну поведінкову адаптацію та динамічне самонавчання систем РБ, що унеможливило реалізацію дій «на випередження». Виявлено обмеження у ПЗ, яке здебільшого реалізує лише сценарне управління без гнучкості пристосування до змін поведінки користувача. Проаналізовано технічні характеристики апаратної бази (мікроконтролери, ПЛК), що застосовуються в побутовій автоматизації, визначено потенціал їх використання в адаптивних системах. У результаті зроблено висновок про доцільність створення нової інформаційної технології управління системами РБ на основі формалізованих стохастичних моделей, зокрема мереж Петрі-Маркова, які забезпечують інтеграцію подієвої логіки, ймовірного характеру взаємодій і механізмів навчання.

У другому розділі «Моделі адаптивної системи “Розумний будинок” на основі мереж Петрі-Маркова та доповнених функціональними компонентами» представлено основні теоретичні засади, на яких побудовано математичну модель РБ, направлену на підвищення оперативності реагування системи. В розділі обґрунтовано вибір методології побудови моделей системи РБ, що поєднує в собі структурно-динамічні властивості мереж Петрі з ймовірнісними характеристиками моделей Маркова. Представлено моделі взаємодії користувача з системою на основі сценаріїв функціонування РБ з врахуванням випадкової природи подій, часових залежностей та впливу зовнішнього середовища. При цьому значну увагу зосереджено на реалізації принципу роботи на випередження, коли система здатна активувати відповідні пристрої та переходити в певні стани ще до фактичного виконання дій користувачем. Для цього імплементовано механізм корекції коефіцієнтів ймовірностей переходів, використовується набір сенсорів та виконавчих пристроїв, гнучка декомпозиція на функціональні рівні. Побудовані графи досяжності станів підтверджують цілісність та скінченність моделей, демонструють їх здатність до адаптації та підтримки різноманітних сценаріїв поведінки користувача.

У третьому розділі «Методи синтезу та навчання моделей систем “Розумний будинок” на основі моделей Петрі-Маркова та доповнених функціональними компонентами» розроблено метод синтезу моделей систем РБ на основі мереж Петрі-Маркова (МПМ), доповнених функціональними компонентами, а також метод їх навчання для реалізації адаптивності цих систем. Обґрунтовано вибір МПМ як формалізму, що дозволяє відображати як динаміку сценаріїв роботи, так і ймовірнісну природу взаємодії системи з користувачем. Запропонована модель забезпечує можливість багаторівневої декомпозиції системи — від високорівневого формулювання сценаріїв до рівня фізичних компонентів - сенсорів та актуаторів. Такий підхід дає змогу моделювати динаміку взаємодії користувача з системою, враховувати стохастичний характер подій, а також верифікувати ступінь детермінованості початкових і кінцевих станів сценаріїв. Запропоновано метод навчання моделей, який базується на зборі статистичних даних про поведінку користувача та подальшому коригуванні ймовірнісних параметрів моделі на основі зібраної в процесі роботи системи, інформації. Розглянуто три режими збору статистичних даних: ручний, автоматизований та автоматичний. Проведено аналіз кожного з них. Сформульовано базовий алгоритм навчання, що включає побудову матриць інцидентності, перехідних ймовірностей та адаптацію розподілу ймовірностей у сценаріях. Описано механізм реалізації «дії на випередження» як здатності системи ініціювати події завчасно, спираючись на історичні патерни поведінки користувача. Розроблено структуру зберігання моделі, що дозволяє оптимізувати обробку сценаріїв, здійснити перехід від громіздкої багатовимірної до одновимірної структури з уніфікованою нумерацією та єдиним репозиторієм реляцій. З цією метою реалізовано алгоритми конвертації між лінійним та ієрархічним представленням моделей. Запропоновані методи та алгоритми становлять основу для створення адаптивної системи розумного будинку, яка здатна пристосовувати свою поведінку до реальних умов експлуатації, навчаючись на основі накопиченого досвіду.

У четвертому розділі «Розроблення засобів інформаційної технології управління адаптивною системою “Розумний будинок” на основі моделей Петрі-Маркова і доповнених функціональними компонентами та результати дослідження» представлено практичну реалізацію розробленої інформаційної технології управління адаптивною системою розумного будинку. Запропоновано повноцінну архітектуру програмно-апаратного комплексу разом з алгоритмами функціонування, технічними рішеннями та інструментами моніторингу й адміністрування. Основою цієї інформаційної технології є модуль адаптивного реагування, що забезпечує обробку вхідних даних, їх перетворення у внутрішні сигнали, формування сценаріїв на основі моделей і виконання відповідних дій. Ключовою складовою комплексу виступає спеціалізований мікроконтролер, який реалізує моніторинг подій, аналіз сценаріїв взаємодії з користувачем та запуск виконавчих пристроїв. Для цього розроблено алгоритмом імовірнісного прогнозування зміни станів, що дає змогу реалізовувати випереджувальне реагування на дії користувача. Для реалізації фізичної частини системи, запропоновано низьковартісне та енергоефективне технічне рішення на основі мікроконтролерів STM8 та ESP8266. Розроблено структурну схему контролера адаптивної системи РБ, схеми підключення сенсорів та актуаторів, а також алгоритми реагування на події. Для забезпечення безперервного функціонування та навчання системи імплементовано модуль статистики, який збирає дані про події, послідовність їх виникнення та результати дії виконавчих елементів. У рамках роботи реалізовано спеціалізоване програмне забезпечення - автоматизовану програмну систему адміністрування та моніторингу (АПСАМ). Вона виконує імпорт конфігураційних файлів, візуалізацію просторової структури будівлі, динамічне оновлення сценаріїв та журналізацію подій. Система забезпечує зв'язок з мікроконтролером та дозволяє адмініструвати компоненти з можливістю тестування у змодельованому середовищі. У розділі також наведено успішні

результати проведеного тестування системи відповідно до стандартів, описаних у ISTQB CT-AI, які базуються на обчисленні основних метрик.

У загальних висновках дисертаційної роботи сформульовано основні результати дисертаційної роботи, які узгоджуються з метою та завданнями дослідження.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

1. У дисертаційній роботі недостатньо описано вибір вхідних параметрів для прогнозування дій користувача, що опрацьовуються системою.

2. Під час аналізу програмного забезпечення для роботи з системами «Розумний будинок» не обгрунтовано вибір програмного забезпечення, що використовуються для реалізації системи управління адаптивною системою розумного будинку.

3. Для кращого розуміння роботи, на мою думку, варто чіткіше описати алгоритм застосування моделі на основі стохастичних мереж Петрі та визначення ймовірностей переходів.

4. Варто зауважити, що у дисертаційній роботі наявні рисунки, текст на яких є досить нечитабельним (зокрема: рис. 2.2., рис. 2.4., рис. 2.5., рис. 2.6. та ін.). Для покращення даних рисунків необхідно зробити більш чіткіший текст на зображеннях або перемістити рисунки, які займають одну сторінку у додатки.

5. На рис.4.1 (Структура ІТ управління адаптивною системою РБ на основі МПМ та доповнених функціональними компонентами) авторка використовує базу знань, на мою думку, варто подати додаткові пояснення щодо використання моделей представлення знань тощо.

6. У тексті дисертаційної роботи зустрічається ряд стилістичних та орфографічних неточностей.

Загалом, вказані зауваження до рецензованої дисертаційної роботи можуть слугувати підґрунтям для дискусії під час її захисту, однак не знижують загальний рівень наукової роботи. Це дає можливість оцінити дисертаційну роботу як цілісну, закінчену та актуальну наукову працю.

Висновок

Не зважаючи на виявлені недоліки, дисертаційна робота Береговської Христини Василівни на тему «Інформаційна технологія управління адаптивною системою розумного будинку» є завершеною науковою працею, яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» (галузь знань 12 «Інформаційні технології»), яка за своїм змістом, структурою, обсягом, науковою новизною та практичним значенням відповідає паспорту спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44 зі змінами згідно з Постановою КМ №9341 від 21.03.2022, а її авторка, Береговська Христина Василівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний рецензент, доктор технічних наук,
професор, професор кафедри
інформаційних систем та мереж
Національного університету
«Львівська політехніка»

Марія НАЗАРКЕВИЧ

«Підпис професора Назаркевич М.А. засвідчую»:
Проректор
Національного університету
«Львівська політехніка»



Роман ФЕДОРИШИН