

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**Реферат наукової роботи**  
**«Методи, моделі та компоненти інформаційних технологій «розумних»**  
**будинків та підприємств»,**  
**висунутої на здобуття щорічної премії Президента України для молодих**  
**учених Національним університетом «Львівська політехніка»**

*Колектив претендентів на здобуття премії:*

**Ізонін Іван Вікторович**, к.т.н., асистент кафедри інформаційних технологій видавничої справи Національного університету «Львівська політехніка»,

**Теслюк Тарас Васильович**, к.т.н., асистент кафедри автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка»,

**Скорохода Олекса Володимирович**, к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка»,

**Ленько Василь Степанович**, асистент кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка».

**Львів – 2020**

**Актуальність.** Системи «розумних» будинку та підприємства починають широко використовуватися для забезпечення комфорту, підвищення якості життя та безпеки мешканців будинку, а також автоматизації процесів задля скорочення людської праці, моніторингу та оцінювання роботи всіх інженерних систем на підприємстві. Подібні системи проектуються та розробляються з використанням контролерів, що керують різноманітними пристроями, пов'язаними між собою. Сукупність останніх – об'єднується в цілісні моніторингові, аварійні, охоронні та інші підсистеми. Подібні підсистеми призначені розпізнавати конкретні ситуації, що відбуваються в будинку чи на підприємстві, і відповідним чином на них реагувати. Окрім цього, вони повинні комунікувати між собою та об'єднуватися в цілісну систему. Це вимагає точного та вчасного опрацювання величезних обсягів інформації. Існуючі методи та засоби інтелектуальних інформаційних технологій не завжди забезпечують можливість вчасної та точної реакції на ту чи іншу ситуацію, що виникає під час експлуатації «розумних» будинку чи підприємства.

Саме тому, актуальним завданням залишається удосконалення існуючих та розроблення нових методів, моделей та компонентів інтелектуальних інформаційних технологій, що забезпечать ефективне управління усіма підсистемами «розумних» будинку чи підприємства.

**Предметом досліджень** є методи паралельно-вертикального опрацювання даних у нейромережах і синтезу інтелектуальних компонентів інформаційних технологій, моделі динамічного аналізу функціонування компонентів "розумних" будинків і підприємств.

**Об'єкт досліджень** - процеси нейромережевого опрацювання даних, синтезу та динамічного аналізу функціонування компонентів "розумних" будинків і підприємств.

**Мета наукової роботи** полягає у підвищенні ефективності методів синтезу інтелектуальних компонентів та нейромережевого опрацювання даних, розробленні моделей динамічного аналізу процесів функціонування компонентів "розумних" будинків і підприємств.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження виконувалось в рамках ряду державних та міжнародних науково-дослідних робіт, а також ГОСП-договору. Зокрема: «Високошвидкісні інформаційні технології опрацювання даних в мікроелектромеханічних системах на основі вбудованих штучних нейронних мереж» (номер державної реєстрації 0111U001218); «Розвиток теорії синтезу нейронних мереж на НВІС-структурах для обробки сигналів в робототехнічних системах» (номер державної реєстрації 0112U001204); «Інструментальні засоби та інтелектуальні компоненти синтезу інтегрованих автоматизованих систем управління» (номер державної реєстрації 0113U003186); «Відслідковування рухомих об'єктів у відеопотоках реального часу» (номер державної реєстрації 0115U000432); «Інтелектуальні інформаційні технології багаторівневого управління енергоефективністю регіону» (номер державної реєстрації 0117U004450); «Розроблення базових компонентів для синтезу інтелектуальних мобільних робототехнічних систем» (номер державної реєстрації 0113U003191); ГОСП-договір № 423 від 31.05.2016 «Короткотермінове прогнозування процесів споживання електричної енергії за допомогою штучних нейронних мереж» та спільного україно-австрійського науково-дослідного проекту «Моделювання трафіку та телекомунікаційних мереж» (номер державної реєстрації 0117U001612), а також в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка».

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

- розроблено метод синтезу засобів збору і опрацювання даних в інтелектуальних багаторівневих інформаційних системах (БІС), який за рахунок врахування характеристик інтерфейсів, вимог технічного завдання та використання інтегрального критерію ефективності компонентів, забезпечує синтез засобів систем з високими техніко-економічними показниками;

- розроблено метод безконфліктного обміну технологічними даними в інтелектуальних багаторівневих інформаційних системах, який за рахунок узгодження інтенсивності надходження даних з інтенсивністю доступу до засобів обміну, забезпечує визначення мінімальної швидкодії пам'яті для синтезу засобів обміну в реальному масштабі часу з високими техніко-економічними показниками;
- розроблено моделі динамічного аналізу процесів функціонування засобів інтелектуальних багаторівневих інформаційних системах, які за рахунок використання теорії простих, кольорових та ієрархічних мереж Петрі та їх розширень, забезпечують прийняття рішення про відповідність функціонування системи до вимог технічного завдання;
- розроблено онтологічно-орієнтований метод подання знань в середовищі асистента доведення теорем Coq, що сприяє формалізації нових та існуючих онтологій, а також уможливує застосування логік вищих порядків, як надійного інструменту підтримки прийняття рішення;
- розроблено процедури формального доведення істинності описових знань, зокрема: для задачі управління правами доступу до проєктів «розумного» підприємства, які полегшують та пришвидшують процес перевірки гіпотез в напівавтоматичному режимі;
- розроблено та запатентовано методологію зміни роздільної здатності зображень на основі машинного навчання, шляхом використання нейроподібних структур моделі послідовних геометричних перетворень, що дало змогу мінімізувати обчислювальні ресурси на стадії навчання, під час розв'язання задач передискретизації зображень в підсистемах технічного зору «розумних» будинку та підприємства;
- розроблено та запатентовано метод синтезу матричного оператора коефіцієнтів ваг синаптичних зв'язків на основі навченої нейроподібної структури моделі послідовних геометричних перетворень з багатьма виходами, використання якого забезпечує ефективну передискретизацію цифрових сценарних зображень в on-line режимі;
- удосконалено графовий алгоритм сегментації зображення, шляхом збільшення степеня зв'язності суміжних вершин графа, використання колірних метрик з простору CIELAB та підбору параметрів сегментації, згідно з особливостями графічних образів, що покращує якість зображення;
- удосконалено нейромережевий алгоритм відновлення пошкодженого зображення на основі самоорганізаційних карт Кохонена, шляхом введення та застосування структури «карта міри пошкоженості» для покращення швидкодії алгоритму;
- розроблено апаратно-орієнтовані методи та запатентовано пристрої одно- та двовимірної медіанної фільтрації, в яких, за рахунок використання алгоритмів сортування чисел методом вставки у ковзному «вікні» та часового розпаралелення процесів обробки забезпечено підвищення швидкодії медіанної фільтрації;
- розроблено метод обчислення сигналу постсинаптичного збудження нейронних елементів в штучних нейронних мережах, який ґрунтується на паралельному таблично-алгоритмічному обчисленні скалярного добутку, з використанням двох і більше таблиць, та забезпечує зменшення часу опрацювання даних;
- розроблено метод паралельно-вертикального опрацювання даних у нейромережах (нейроелементах), який завдяки використанню багатооперандного підходу, порозрядного надходження даних та суміщення процесів надходження даних з виконанням обчислень, забезпечує зменшення кількості виводів інтерфейсу, розрядності міжнейронних зв'язків і витрат обладнання та підвищує швидкодію обчислень;
- розроблено моделі формального нейрона паралельно-вертикального типу, які відрізняються від відомих порозрядним надходженням та опрацюванням вхідних даних і вагових коефіцієнтів, табличною реалізацією функції активації і порозрядним формуванням результату, що забезпечило орієнтацію моделей на НВІС-реалізацію та адаптацію нейрона до вимог конкретного застосування;

- синтезовано орієнтовані на НВІС-реалізацію нейроелементи паралельно-вертикального типу, в яких завдяки узгодженню та суміщенню процесів паралельно-порозрядного надходження та опрацювання вхідних даних і вагових коефіцієнтів, забезпечено високу ефективність використання обладнання.

**Практичне значення одержаних результатів.** Використання розроблених методів синтезу забезпечує формалізацію процесу синтезу та розроблення інтелектуальних компонентів з високими техніко-економічними показниками. Розроблені моделі динамічного аналізу функціонування компонентів "розумних" будинків і підприємств забезпечують прийняття рішення про відповідність функціонування компонент згідно з вимогами технічного завдання та зменшують час і вартість розроблення компонентів. Результати наукових досліджень, які подано на здобуття премії Президента України для молодих вчених, використовуються у відділі методів та систем дистанційного зондування Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України, ТЗОВ «Клініка сучасних методів діагностики та інноваційних медичних технологій «Водолій», ТЗОВ «ЕЛСИ», а також в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка». Новизну та конкурентоспроможність розроблених технічних рішень захищено 5 патентами на винаходи України, 7 патентами на корисні моделі та 7 свідоцтвами про авторське право.

**Загальна кількість публікацій авторів за темою дослідження.** До наукової роботи увійшло 168 наукових праць, зокрема: 3 монографії в т.ч. одна англійською мовою; 3 розділи колективних монографій в т.ч. один англійською мовою; 1 навчальний посібник; 5 патентів на винаходи України; 7 патентів на корисні моделі України; 7 свідоцтв про авторське право на твір; 14 статей у періодичних виданнях, що індексуються у наукометричних базах даних Scopus, Web of Science; 46 статей у періодичних виданнях, включених МОН України до переліку фахових; 9 статей у періодичних виданнях інших держав; 3 статті у інших наукових виданнях України; 70 тез в збірниках матеріалів міжнародних наукових та науково-практичних конференцій, серед яких 23 – у виданнях, що індексуються у наукометричній базі даних Scopus, 45 – у виданнях України та 2 – у виданнях інших держав.

**Зміст роботи.** В процесі проектування інтелектуальних багаторівневих інформаційних систем (БІС), до яких належать системи «розумних» будинку та підприємства, на першому етапі необхідно розв'язати задачі структурного синтезу та аналізу.

Для розв'язання задачі структурного синтезу використовується розроблений авторами роботи метод синтезу засобів збору і опрацювання даних в інтелектуальних БІС, який за рахунок врахування типів та параметрів інтерфейсів, вимог технічного завдання та використання інтегрального критерію ефективності компонентів, забезпечує зменшення апаратних та часових затрат від 10 до 40 % та забезпечує синтез засобів інтелектуальних багаторівневих систем з високими техніко-економічними показниками. В процесі реалізації запропонованого методу, побудовано інформаційну модель структур синтезованих складових інтелектуальних БІС, яка базується на використанні теорії графів та кортежів і дає змогу формалізувати базову структуру та швидко модифікувати її в процесі вдосконалення. Розроблено структуру та алгоритм функціонування системи синтезу елементів інтелектуальних БІС, які ґрунтуються на модульному принципі та включають наступні складові: підпрограму для вибору елементної бази згідно із техніко-економічними показниками; підпрограму для синтезу структур компонентів для системи управління енергоефективністю технологічного процесу на підприємстві. Розроблене програмне та інформаційне забезпечення системи синтезу елементів інтелектуальних БІС базується на базі даних SQLite та написано мовою Java. Ця програма є кросплатформна і може працювати на різних операційних системах.

Розв'язання задач аналізу реалізовано з використанням побудованих моделей динамічного аналізу процесів функціонування засобів інтелектуальних БІС, які за рахунок

використання теорії простих, кольорових та ієрархічних мереж Петрі та їх розширень, забезпечують прийняття рішення про відповідність функціонування інтелектуальної багаторівневої інформаційної системи та її складових згідно з вимогами технічного завдання.

Інтелектуалізація функцій компонентів багаторівневих інформаційних систем реалізується з використанням побудованого методу обчислення сигналу постсинаптичного збудження нейронних елементів в штучних нейронних мережах, який ґрунтується на паралельному таблично-алгоритмічному обчисленні скалярного добутку, з використанням двох і більше таблиць, та забезпечує зменшення в два і більше разів час опрацювання технологічних даних.

Сучасні інтелектуальні системи є, як правило, багаторівневими. Специфіка кожного рівня визначається апаратно-програмними складовими та задачами, які розв'язуються на цьому рівні. Однією із основних задач інтелектуальних БІС – є формування у реальному часі єдиного інформаційного простору з повною оперативною інформацією та забезпечення безконфліктного обміну між складовими системи, що розробляється. Для розв'язання таких задач, розроблено метод безконфліктного обміну технологічними даними в інтелектуальних БІС, який за рахунок узгодження інтенсивності надходження даних з інтенсивністю доступу до засобів обміну, забезпечує визначення мінімальної швидкодії пам'яті для синтезу засобів обміну в реальному масштабі часу з високими техніко-економічними показниками. Більше того, розроблено структуру пристрою збереження та обміну даними в інтелектуальних БІС з промисловою мережею, в якому завдяки використанню методу часового розподілу ресурсів пам'яті, забезпечено безконфліктний обмін даними у реальному часі та збільшено множину зовнішніх пристроїв, що реалізують режим звертання багатьох до багатьох.

В роботі здійснено системний аналіз поняття «знання» і досліджено методи та засоби його подання, перевірки та структурування. Задля уникнення категорійних помилок, висвітлено відмінності між поняттями «дані», «інформація» та «знання». Аналіз структури описового знання здійснюється в контексті його інтерпретації як «істинного обґрунтованого переконання» – філософської теорії, корені якої сягають робіт Платона. Присутність проблем Гетґе в класичних методах обґрунтування, а також вагомі результати в галузі інтуїціоністського трактування знання, сприяють вибору теорії типів як перспективної технології для подання і обґрунтування знання. Принципи функціонування системи «база знань» сформульовані у вигляді гіпотези подання знання.

Онтологічна модель подання знань, де-факто – є стандартом в системах, що базуються на знаннях. Структурно та функціонально дана модель поєднує зручні властивості інших моделей подання знань, зокрема: таксономія понять наслідує семантичну мережу, структура понять відповідає фреймовій моделі, обмеження і аксіоматизація записуються у вигляді продукційних правил та висловлювань формальної логіки. Абстрактність і універсальність понять предметної області визначають спектр використання онтології та дають змогу класифікувати її до базових, предметних чи орієнтованих на конкретне завдання, зокрема і для стратегічного планування чи операційної діяльності «розумного» підприємства.

Міркування в онтологіях є фундаментальним процесом, що забезпечує можливість щодо формування нових знань на базі існуючих, перевірку несуперечності збережених знань, тощо. Однією з найпоширеніших технологій для здійснення міркувань в онтологіях – є мова OWL DL, яка ґрунтується на формалізмах описової логіки. В роботах ряду відомих вчених показано обмеженість цієї технології та пропонується більш формальний підхід до здійснення високорівневого міркування з використанням апарату теорії типів.

Теорія типів представлена розмаїттям формальних систем, які зазвичай відрізняються виразністю та обчислювальними властивостями. Оскільки, просто-типізоване лямбда числення,  $\lambda \rightarrow$ , характеризується низькою виразністю, зокрема не допускає рекурсивні функції, то запропоновано три напрямки його розширення –

поліморфними термами, конструкторами типів і залежними типами. Числення конструкцій CoC об'єднує ці три напрямки в межах єдиної системи виведення і розширюється індуктивними означеннями до СІС. Більшість задач теорії типів є розв'язними в СІС, за винятком задачі пошуку терму, яка згідно з ізоморфізмом Каррі-Говарда відповідає задачі доведення теореми. Ця поведінка узгоджується з першою теоремою Гьоделя про неповноту, тому доведення теорем в СІС може бути лише частково автоматизованим.

Інтерактивний асистент доведення теорем Coq втілює теорію типів СІС і надає мову специфікацій Gallina для подання знання. Обґрунтування поданих знань, здійснюється шляхом формулювання теорем і їх доведення за допомогою атомарних тактик та мови Ltac. Формалізації та доведенню в Coq піддаються знання різної природи: математичні та логічні теорії, програмні специфікації і твердження природньої мови. Авторами наукової роботи розроблено онтологічно-орієнтований метод подання бази знань в середовищі асистента доведення теорем Coq, що сприяє формалізації нових та існуючих онтологій, а також уможливорює застосування логік вищих порядків як надійного інструменту підтримки прийняття рішення, а також розроблено процедури формального доведення істинності описових знань, зокрема для задачі управління правами доступу до проектів «розумного» підприємства.

Підсистеми технічного зору в «розумних» будинках і підприємствах є важливою ланкою в системі здобуття інформації про середовище функціонування розумної одиниці. Вони пов'язуються з опрацюванням та передачею великих обсягів інформації, зокрема зображень та відеопотоків. Значна розмірність останніх, зумовлює великі часові затримки під час передачі, що суттєво впливає на якість функціонування усієї системи. При цьому, низька роздільна здатність зображень, що призначені для опрацювання, може знизити ефективність або взагалі унеможливити інтелектуальний аналіз через їх низьку інформативність. Саме тому, ефективне проектування подібних систем повинно враховувати ці особливості.

Авторами розроблено і запатентовано ряд способів передискретизації цифрових зображень на основі машинного навчання для систем технічного зору «розумних» будинків та підприємств. Вони дають змогу мінімізувати обчислювальні ресурси на стадії навчання шляхом використання нейроподібних структур моделі послідовних геометричних перетворень (МПП) і забезпечують ефективну передискретизацію (за критеріями на основі співвідношення пікового сигналу до шуму та індексу структурної подібності) цифрових сценарних зображень навіть в *on-line* режимі. Таким чином, передача даних в підсистемах технічного зору «розумних» будинку та підприємства може відбуватися із використанням зображень / кадрів відеопотоку низької роздільної здатності, а власне прискорене опрацювання – буде відбуватися на основі збільшених їх версій.

Авторами досліджено вплив розмірності фреймів, на які діляться вхідні зображення при формуванні навчальних даних, на ефективність роботи методу. Експериментальним шляхом встановлено, що при розв'язанні задачі збільшення роздільної здатності, розміри фрейму вхідного зображення повинні становити не менше  $6 \times 6$  пікселів, а при розв'язанні задачі зменшення роздільної здатності – не більше  $2 \times 2$  пікселів.

Експериментальні дослідження впливу нелінійних синаптичних зв'язків між нейронами – не підтвердили покращення результатів передискретизації внаслідок очевидного збільшення параметрів складності мережі і погіршення генералізуючих властивостей. Враховуючи це, з використанням лінійної структури нейроподібних структур МПП, включаючи лінійні функції активації нейронів і лінійні синаптичні зв'язки, застосовуючи принципи лінійної суперпозиції, авторами здійснено декомпозицію нейроподібних структур МПП. На основі цього, а також враховуючи повторюваність розв'язку, яка забезпечується алгоритмом навчання нейроподібних структур МПП, розроблено та запатентовано метод отримання матричного оператора коефіцієнтів ваг синаптичних зв'язків з навченої нейроподібної структури МПП з багатьма виходами. Він

дає змогу здійснювати процедури передискретизації без повторного використання нейроподібних структур МППП. Окрім цього, застосування матричного оператора забезпечує зменшення часу роботи процедури передискретизації під час опрацювання набору сценарних зображень.

Експериментально встановлено, що результати передискретизації як з використанням нейроподібних структур МППП, так і з використанням матричного оператора коефіцієнтів ваг синаптичних зв'язків - повністю співпадають. Це дозволяє використовувати матричний оператор для реалізації методології зміни РЗ зображень в *on-line* режимі.

Ефективність роботи розроблених методів порівнювалася із ефективністю роботи одного із найкращих сучасних методів – на основі конволюційної нейронної мережі (КНМ). Із використанням розроблених авторами програмних засобів виявлено, що значення індексу структурної подібності обох методів дуже близькі. Проте, кращі результати отримано для зображень, збільшених методом, що ґрунтується на використанні конволюційної нейронної мережі (метод Донга). Незважаючи на це, розроблена авторами наукової роботи методологія має ряд суттєвих переваг, зокрема:

- процедура навчання за розробленим методом містить лише одну пару зображень;
- процедура навчання за розробленим методом передбачає виконання лише однієї ітерації і забезпечує однозначність розв'язку за інших однакових умов;
- розроблений метод, завдяки неітеративності, забезпечує високу швидкість у режимі навчання;
- застосування отриманого у роботі матричного оператора коефіцієнтів ваг синаптичних зв'язків не вимагає використання НПС МППП в режимі застосування, що зменшує час процесу передискретизації.

Авторами наукової роботи удосконалено ефективний графовий алгоритм сегментації зображення, шляхом збільшення степеня зв'язності суміжних вершин графа, застосуванням колірних метрик з простору CIELAB та підбором параметрів сегментації згідно з особливостями графічних образів, що покращує якість зображення після сегментації. В межах програмного експерименту реалізовано програмні засоби мовою Java, які дозволяють аналізувати залежність якості результату сегментації від значень вхідних параметрів алгоритму.

Окрім цього, удосконалено нейромережевий алгоритм відновлення пошкодженого зображення на основі самоорганізаційних карт Кохонена, шляхом введення та застосування структури «карта міри пошкоженості» для покращення швидкості алгоритму. На основі розроблених програмних засобів, досліджено залежність якості відновлення графічного образу, від ступеню пошкодження зображення та значень вхідних параметрів алгоритму. Застосування самоорганізаційних карт Кохонена для відновлення зображень показали набагато кращі результати, ніж використання методу інтерполяції бікубічними сплайнами.

Для ефективного приглушення імпульсного шуму, який може виникати в процесі попереднього опрацювання зображень, авторами розроблено і запатентовано одно- та двовимірні медіанні фільтри, які збільшують швидкість вищевказаних процедур в порівнянні з існуючими пристроями та розширюють їх функціональні можливості.

Штучні нейронні мережі, як основний інструмент проектування інтелектуальних систем «розумних» будинку та підприємства потребують опрацювання інтенсивних потоків даних на апаратних засобах, що задовольняють обмеження відносно габаритів, маси, енергоспоживання тощо. Більшість існуючих нейромережевих засобів мають структурну організацію універсального типу, яка функціонально та структурно є надлишковою, не враховує вимог конкретних застосувань щодо продуктивності, габаритів, споживаної потужності та має невисоку ефективність використання обладнання. Створення високоефективних нейромережевих засобів реального часу потребує широкого використання сучасної елементної бази, розроблення нових моделей

нейрона, орієнтованих на реалізацію у надвеликих інтегральних схемах (НВІС), методів, алгоритмів і спеціалізованих НВІС-структур для реалізації нейроелементів та нейромереж. З огляду на це, особливої актуальності набуває завдання синтезу нейроелементів і нейромереж, орієнтованих на опрацювання даних у реальному часі та НВІС-реалізацію з високою ефективністю використання обладнання.

Автори здійснили аналіз типових задач, що розв'язуються нейромережами в системах «розумних» будинку та підприємства і дійшли до висновку, що для забезпечення високої швидкодії нейроелементів і нейромереж при НВІС-реалізації та зменшення кількості виводів інтерфейсу опрацювання даних здійснювати паралельно розрядними зрізами (вертикально) на основі багатооперандного підходу, тобто паралельно-вертикально.

При цьому, основними етапами реалізації розробленого методу паралельно-вертикального опрацювання даних у нейроелементах і нейромережах є: формування для кожного розрядного зрізу часткових результатів; підсумовування часткових результатів та отримання макрочасткового результату; підсумовування макрочасткових результатів; обчислення функції активації.

Авторами наукової роботи визначено, що можливі декілька підходів до реалізації паралельно-вертикальних обчислень. В залежності від конкретного застосування, реалізація методу паралельно-вертикального опрацювання даних у нейроелементі залежить від: способу надходження даних; способу формування для кожного розрядного зрізу часткових результатів; способу формування макрочасткових результатів; способу формування результату обчислення. Також було розроблено основні способи підвищення швидкодії нейроелемента з паралельно-вертикальним опрацюванням даних: зменшення часу формування часткових результатів; зменшення кількості часткових результатів; зменшення часу формування макрочасткових результатів; зменшення часу підсумовування макрочасткових результатів.

Для розроблення нейромереж реального часу з високою ефективністю використання обладнання, авторами вибрано такі принципи: конвеєризації та просторового паралелізму опрацювання даних; модульності, який передбачає розроблення нейроелементів і елементів попереднього опрацювання у вигляді функціонально завершених пристроїв (модулів); спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів опрацювання та інтенсивності надходження даних; формування архітектури за допомогою використання програмованих логічних інтегральних схем. (ПЛІС).

У роботі запропоновано базові структури нейроелементів паралельно-вертикального типу, апаратно-орієнтовані методи та алгоритми, а також запатентовані пристрої обчислення скалярного добутку та групового підсумовування. Синтезовано нейроелементи паралельно-вертикального типу та досліджено їхні основні характеристики.

Розроблено базову структуру нейроелемента паралельно-вертикального типу, яка реалізує модель формального нейрона з мультиплексуванням шин вхідних даних та вагових коефіцієнтів, які надходять по чергово розрядними зрізами. Показано, що формування часткових результатів на основі попередніх обчислень забезпечує зменшення їхньої кількості. Для виконання попередніх обчислень використано однорозрядні суматори, кількість яких залежить від кількості пар добутків, для яких формується спільний частковий результат. Синтезовано та досліджено нейроелементи паралельно-вертикального типу з мультиплексованими шинами з прямим формуванням часткових результатів і з формуванням на основі попередніх обчислень.

Розроблено базову структуру нейроелемента паралельно-вертикального типу із суміщенням процесів надходження і формування часткових результатів для розрядних зрізів вхідних даних і вагових коефіцієнтів. Синтезовано та досліджено нейроелемент паралельно-вертикального типу із суміщенням процесів надходження і формування часткових результатів для випадку надходження операндів молодшими розрядами вперед.



Розроблений нейроелемент забезпечує однотипність і простоту реалізації, зменшення кількості зовнішніх виводів і досягнення високої продуктивності за рахунок глибокого розпаралелювання до бігового рівня та використання конвеєризації. Час обчислення скалярного добутку в такому нейроелементі, визначається насамперед розрядністю операндів, а не їх кількістю. Визначено, що підвищення ефективності нейроелемента досягається роздільним або комплексним використанням методів, які дадуть змогу зменшити кількість макрочасткових результатів, час їхнього формування та підсумовування.

Розроблено базову структуру нейроелемента паралельно-вертикального типу з табличним формуванням макрочасткових результатів. Синтезовано та досліджено нейроелемент з табличним формуванням макрочасткових результатів. Показано, що використання таблиць макрочасткових результатів, забезпечує підвищення швидкодії нейроелемента. З'ясовано, що швидкодія нейроелементів великою мірою визначається часом реалізації операції групового підсумовування операндів (багатовходового суматора). Запропоновано для реалізації операції групового підсумовування використовувати вертикальний та багатооперандний підходи.

Для апаратної реалізації нейромереж, запропоновано їхнє відображення здійснювати за допомогою напрямлених графів на рівні одно-, дво- і багатооперандних нейрооперацій. Графове відображення нейромереж забезпечує виявлення всіх форм паралелізму та знаходження необхідних просторово-часових рішень, у разі апаратної реалізації. Для синтезу апаратних нейромереж реального часу з високою ефективністю використання обладнання, графове відображення нейромереж доцільно представляти у вигляді узгодженого графа.

Показано, що узгодження інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю нейромережі, може здійснюватися зміною тактової частоти опрацювання або кількості нейроелементів у шарі нейромережі. Визначено, що насамперед необхідно мінімізувати тривалість конвеєрного такту, яка визначається швидкодією елементної бази та складністю функціональних операторів, які реалізуються сходінкою конвеєра.

Також було запропоновано здійснювати синтез нейромереж реального часу з високою ефективністю використання обладнання за допомогою апаратного відображення функціональних операторів узгодженого графа нейромережі, відповідними апаратними засобами. Перехід від узгодженого графа до апаратної структури нейромережі з високою ефективністю використання обладнання, зводиться до мінімізації апаратних витрат при забезпеченні роботи в реальному часі.

Для дослідження розробленої системи та методу структурного синтезу засобів інтелектуальних БІС, проведено ряд обчислювальних експериментів. Зокрема, наведено результати синтезу базового елемента, який складається з мікроконтролера, давача температури, обігрівача та модуля зв'язку. Було згенеровано 284 альтернативи, з яких було вибрано варіант з більшим значенням цільової функції. З отриманих результатів слідує, що система працює правильно та коректно і дає змогу автоматизувати процес синтезу засобів інтелектуальних БІС.

Використання моделей на основі мереж Петрі дало змогу отримати результати аналізу функціонування синтезованих засобів інтелектуальних БІС у формі графів досяжності станів, в яких може перебувати кожна з досліджуваних складових. Отримані результати дають змогу стверджувати, що усі стани є досяжними, мережа є живою, а тупикові стани - відсутні.

Запропонована структурна схема та алгоритм роботи підсистеми безпеки, яка ґрунтується на використанні нейроконтролерів та модульного принципу, що забезпечує швидко модернізацію технічної підсистеми «розумного» будинку. Побудова нейроконтролерів на основі простих мікроконтролерів, забезпечує низьку ціну проектного рішення. Побудована модель підсистеми безпеки «розумного» будинку на основі теорії мереж Петрі, яка дає можливість дослідити динаміку функціонування розробленої

підсистеми та визначити досяжні стани, в яких може перебувати пристрій, наявність чи відсутність тупиків, що є важливою складовою процесу проектування на рівні системи.

У науковій роботі вирішено актуальне наукове завдання: розроблено методи, моделі та компоненти інформаційних технологій «розумних» будинків та підприємств. При цьому отримано такі основні науково-практичні результати:

1. Розроблено метод та синтезовано засоби збору і опрацювання даних в інтелектуальних багаторівневих інформаційних системах з високими техніко-економічними показниками.
2. Розроблено метод та пристрій безконфліктного обміну технологічними даними в реальному масштабі часу з високими техніко-економічними показниками.
3. Для прийняття рішення про відповідність функціонування інтелектуальних багаторівневих систем згідно з вимогами технічного завдання розроблено моделі динамічного аналізу.
4. Розроблено онтологічно-орієнтований метод подання знань в середовищі асистента доведення теорем Coq, розроблено процедуру формального доведення істинності описових знань.
5. Розроблено та запатентовано нейромережеві методи попереднього опрацювання зображень (зміни роздільної здатності, сегментації та реконструкції), методи та пристрої медіанної фільтрації для систем технічного зору «розумного» будинку та підприємства.
6. Розроблено нові моделі формального нейрона, метод обчислення сигналу постсинаптичного збудження нейронних елементів в штучних нейронних мережах, а також метод паралельно-вертикального опрацювання даних у нейромережах.
7. Синтезовано орієнтовані на НВІС-реалізацію нейроелементи паралельно-вертикального типу, розроблено базовий інтелектуальний компонент, який реалізовано у формі нейроконтролера, що забезпечує опрацювання нечітких і неструктурованих вхідних технологічних даних систем «розумний» будинок та підприємство.

Асистент кафедри інформаційних технологій видавничої справи  
Національного університету  
«Львівська політехніка», к.т.н.,

I. В. Ізонін

Асистент кафедри автоматизованих систем управління  
Національного університету  
«Львівська політехніка», к.т.н.

Т. В. Теслюк

Доцент кафедри автоматизованих систем управління  
Національного університету  
«Львівська політехніка», к.т.н.

О. В. Скорохода

Асистент кафедри інформаційних систем та мереж  
Національного університету  
«Львівська політехніка»

В. С. Ленко