

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

АКСАК НАТАЛІЯ ГЕОРГІЇВНА

УДК [004.415:004.032.2]:004.5

**МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ**

05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант – доктор технічних наук, професор,
Корабльов Микола Михайлович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри
електронних обчислювальних машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Дрозд Олександр Валентинович,
Одеський національний політехнічний
університет, професор кафедри інтелектуальних
комп'ютерних систем та мереж;

доктор технічних наук, професор,
Мірошник Марина Анатоліївна,
Український державний університет залізничного
транспорту, професор кафедри спеціалізованих
комп'ютерних систем;

доктор технічних наук, професор,
Фурман Ілля Олександрович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка,
професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій.

Захист відбудеться «___» _____ 2019 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14.

Автореферат розісланий «___» _____ 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

Е.І. Литвинова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Швидкий розвиток вбудованих інтелектуальних пристроїв і комп'ютерних мереж породив багато різноманітних мережевих додатків і послуг, таких, як, Інтернет речей IoT (Internet of Things), Інтернет транспортних засобів IoV (Internet of Vehicles), всеохоплюючий Інтернет IoE (Internet of Everything), розумна планета, розумне місто, розумна мережа та мережа послуг. Зросла популярність доповненої реальності AR (Augmented reality), транспортних засобів безпілотних літальних апаратів UAVs (Unmanned aerial vehicle) та інших нових мережевих додатків та послуг. Це обумовлює актуальність питання – як задовольнити всі вимоги, що пов'язані зі швидким зростанням нових мережевих додатків і послуг, використовуючи централізовану парадигму обчислень. Таким чином, настала ера зовсім нової взаємодії людей і різних систем, від яких очікується оперативна реакція на виникаючі перетворення в теперішньому часі.

Загальний розвиток існуючих універсальних комп'ютерних систем (УКС) дозволяє розв'язувати багато задач наукового, виробничо-технічного та іншого характеру. Однак існують надзвичайно важливі задачі, що пов'язані зі спілкуванням та прийняттям рішень людиною, в яких очікується оперативна реакція на виникаючі перетворення в теперішньому часі. Для вирішення таких задач сучасних якостей УКС не вистачає. Все це вимагає взаємодії системних, прикладних програмістів і кінцевих користувачів та заохочує до пошуку і впровадження нових рішень для створення нових проблемно-орієнтованих систем.

Причинами створення спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС), по-перше, є суперечності між методами постановки і вирішенням завдань, що важко формалізуються, з одного боку, і технічними можливостями УКС, з іншого. Застосування нейронних мереж (НМ) має практичне значення в будь-якій предметній області та має такі переваги перед традиційними математичними методами: коли завдання не може бути формалізоване традиційними математичними методами; коли завдання формалізоване, але на сьогодні відсутній апарат для його вирішення; коли для добре формалізованого завдання існує відповідний математичний апарат, але реалізація обчислень із його допомогою на базі наявних обчислювальних систем не задовольняє вимоги одержання рішень за часом, розміром, вагою, енергоспоживанням та ін. Однак, зі збільшенням розмірності вхідних сигналів структура НМ стає більш складною, що у свою чергу веде до більш тривалого часу навчання, до вповільнення швидкості збіжності. Водночас, НМ є високопродуктивним обчислювачем, тому алгоритми, призначені для роботи з НМ, є паралельними.

Іншою причиною є змістовна сторона задачі, перша особливість якої прямо пов'язана із прийняттям продуманих рішень. Для прийняття рішень існує величезна різноманітність будь-яких методів з різним рівнем складності. Забезпечити погоджені рішення дозволяє обчислювальна парадигма з використанням мультиагентних систем (МАС). У різних сферах діяльності мотивація застосування МАС різна, однак можна виділити основні переваги їхнього застосування: суб'єкти беруть до уваги особливості додатка й навколишнього середовища; є можливість моделювання й

дослідження взаємодії між суб'єктами; окремі компоненти системи моделюються на різних рівнях. Інша особливість зумовлена нагромадженням і обробкою величезної кількості інформації, що у свою чергу стосується концепції великих даних. Проблеми обробки великих даних пов'язані з їхнім різноманіттям, зі складнощами збору, зберігання, управління та аналізу, об'ємом пам'яті та швидкістю обчислень. За допомогою візуалізації багатовимірних даних можна отримати ряд корисних речей, таких як витяг шаблонів, виявлення шахрайства, керування факторами ризику, зниження витрат на охорону здоров'я та ін. Кількісна інформація, що отримана за результатами аналізу зображень великих розмірів, може використовуватися для прийняття рішень, наприклад, в діагностичних системах різного призначення.

Для розв'язання зазначених наукомістких проблем у дисертації розроблено методологічну основу, яка ґрунтується на комплексному використанні різних технологій, методів і моделей для синтезу, інтелектуалізації, підвищення ефективності та застосування розподілених СКС. Задача створення нової методологічної основи розробки комплексу методів та моделей розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у рамках єдиної технології створення проблемно-орієнтованих систем є, безумовно, *актуальною*.

Запропонована у роботі методологія організації проблемно-орієнтованих обчислень спирається на дослідження та теоретичні напрацювання вітчизняних і зарубіжних вчених: концепція розвитку та побудови СКС викладена у працях А.О. Мельника, В.П. Тарасенка, Я.М. Николайчука та ін., авторами А.І. Петренком, В.А. Святним, В.В. Воєводіним, Вл.В. Воєводіним, В.П. Гергелем та ін., вирішено завдання моделювання та аналізу паралельних обчислень. Значний внесок у розвиток штучних нейронних мереж роблять такі українські вчені, як О.Г. Руденко, Є.В. Бодянський, Н.М. Кукуль, так і іноземні – С. Хайкін. Серед українських та зарубіжних учених, які впливають на розвиток методів обробки зображень, можна відзначити Є.П. Путятіна, М.І. Шлезингера, В.М. Крилова, Б.П. Русина, Р.А. Воробеля, R. Gonzalez. В області візуалізації багатовимірних даних активно ведуться наукові розробки такими вченими, як А.Ю. Зінов'єв, В. Kegl, D. Wunsch та ін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках таких держбюджетних тем: НДР «Нейро-фаззі системи для поточної кластеризації і класифікації послідовностей даних за умов їхньої викривленості відсутніми та аномальними спостереженнями», розділ «Адаптивні методи та моделі класифікації даних і прогнозування часових рядів за умов їхньої викривленості відсутніми та аномальними спостереженнями на основі штучних імунних систем» (№ ДР 0113U000361), автор брала участь у виконанні робіт як відповідальний виконавець; НДР «Синтез методів обробки інформації в умовах невизначеності на основі самонавчання і м'яких обчислень»; розділ «Гібридні моделі, що самонавчаються, в задачах обробки нечіткої інформації» (№ ДР 0107U003028); автор брала участь у виконанні робіт як відповідальний виконавець; НДР «Еволюційні гібридні системи обчислювального інтелекту зі змінною структурою для інтелектуального аналізу даних», розділ «Еволюційні гібридні методи та моделі інтелектуальної обробки інформації зі змінною структурою в умовах невизначеності»

(№ ДР 0110U000458); автор брала участь у виконанні робіт як відповідальний виконавець; «Розробка структури Харківського ресурсно-операційного GRID-центру та його ресурсів», договір № 9 (28.09.07–31.10.07, 01.12.07–31.12.07) між ХНУРЕ і «ІПСА» НТУУ «КПІ», що виконувалася на підставі договору «ІПСА» НТУУ «КПІ» з Міністерством освіти і науки України № ІТ/506-2007, Державної програми «Інформаційні та телекомунікаційні технології в освіті і науці» на 2006–2010 рр. (№ ДР 0107U010616); автор брала участь у виконанні робіт як один з виконавців; «Розробка та дослідження застосування GRID-порталу Харківського ресурсно-операційного GRID-центру», договору № 08-22 (08.04.07–27.06.08) і № 08-22/9 (01.07.08–30.09.08) між ХНУРЕ і «ІПСА» НТУУ «КПІ», що виконувалася на підставі Договору «ІПСА» НТУУ «КПІ» з Міністерством освіти і науки України № ІТ/506-2013, Державної програми «Інформаційні та телекомунікаційні технології в освіті і науці» на 2006–2013 рр. (№ ДР 0108U008261); автор брала участь у виконанні робіт як один з виконавців.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення спеціалізованих комп'ютерних систем розподіленої інтелектуальної обробки (СКСПІО) великих даних (ВД), які за якістю рішень і термінів отримання результатів дозволяють максимально ефективно використовувати ресурси шляхом розробки та реалізації методів і моделей обробки великих даних на основі штучних нейронних мереж та агентно-орієнтованого підходу з використанням концепції хмарних обчислень.

Згідно зі сформульованою метою в дисертаційній роботі необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз, формалізувати та вирішити завдання створення методів і моделей, які є основою розподілених та інтелектуальних технологій обробки великих даних у СКС для проблемно-орієнтованих обчислень;

- розробити методологічний підхід до побудови сервіс-орієнтованого середовища на основі комбінованих методів і моделей побудови проблемно-орієнтованих сервісів, який забезпечує доступ користувачів до спеціалізованих програмних комплексів та дозволяє оперативно реагувати на зміни, що відбуваються у реальному часі;

- запропонувати методологічну основу проектування проблемно-орієнтованих сервісів, яка дає можливість агрегувати компоненти СКС та дозволяє вирішити комплексну задачу адаптації та персоналізації сервіс-орієнтованої системи;

- запропонувати принцип проектування адаптивної та персоналізованої сервіс-орієнтованої системи, який дозволяє налаштовувати контент, здійснювати консультації в режимі реального часу та надавати актуальну інформацію з різних аспектів пропонованого сервісу;

- розробити хмарну архітектуру для персоналізованих сервіс-орієнтованих систем для своєчасного реагування при настанні екстреної ситуації;

- дослідити спосіб взаємодії між агентами мультиагентної системи для прийняття раціональних рішень в системах оперативного реагування;

- запропонувати моделі для розподіленої нейромережевої обробки великих даних, які дозволяють скоротити обсяги переданої інформації між вузлами, а також підвищити швидкодію в ході вирішення складних завдань;

- запропонувати метод узгодження дій агентів для успішного функціонування агентно-орієнтованої системи оперативного реагування на критичні зміни обставин;
- запропонувати методи розподілу робіт і кооперації агентів в агентно-орієнтованій системі для розподілення завдань між агентами з метою своєчасного реагування в ході виникнення інциденту;
- розробити методологічну основу обробки великих даних нейронними мережами для рівномірного планування навантаження обчислювального кластера;
- розробити методи візуалізації багатовимірних даних за допомогою мап Кохонена з можливістю їх відображення у простір малого розміру;
- розробити методи та моделі розподіленої інтелектуальної обробки зображень досліджуваного об'єкта з метою їх подальшого використання в проблемно-орієнтованих системах для зменшення часу відклику;
- провести апробацію результатів досліджень із застосуванням системного підходу до розробки комп'ютерної системи спеціального призначення та процедур інтелектуальної обробки різномірної інформації великого розміру у розподіленому середовищі і можливістю своєчасного надання предметно-орієнтованого сервісу.

Об'єктом дослідження є процеси побудови спеціалізованих комп'ютерних систем розподіленої інтелектуальної обробки різномірної інформації великих обсягів.

Предметом дослідження є методологічні основи, моделі та методи розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у спеціалізованих комп'ютерних системах з використанням штучних нейронних мереж, агентно-орієнтованого підходу та хмарних обчислень.

Методи дослідження: для вирішення поставлених завдань в дисертації використано: теоретико-множинний підхід для створення узагальненої моделі організації проблемно-орієнтованих обчислень, її складових компонентів і їх взаємодії; теорія агентів і багатоагентних систем для розробки методів планування та координації групових дій агентів, проведення переговорів та вибору оптимального рішення; динамічний апарат TTL (Temporal Trace Language) для відображення динаміки поведінки агентів; Інтернет технології для розробки методу і моделі персоналізації веб-порталу; теоретичні основи побудови високо-продуктивних систем для розробки методів і моделей розподіленої обробки великих даних; хмарні обчислення для побудови архітектури сервіс-орієнтованих систем; теорія штучних нейронних мереж для класифікації вхідної інформації і відображення багатовимірних даних у простір малої розмірності з невисокою трудомісткістю; теорія графів, методи обробки зображень, засоби цифрової обробки сигналів, лінійна алгебра, теорія матриць.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше запропоновано методологічну основу побудови спеціалізованих комп'ютерних систем розподіленої інтелектуальної обробки великих даних, яка характеризується тим, що містить такі функціональні складові: метод збору інформації про користувачів веб-сервісів; метод адаптації предметно-орієнтованих веб-сервісів; методи прискореної обробки великих даних на основі високопродуктивних обчислень за допомогою нейронних мереж; спосіб своєчасного надання спеціалізованих послуг за допомогою мультіагентних систем, що забезпечує високорівневий доступ предметних користувачів до проблемно-орієнтованих програмних комплексів та дозволяє

погоджувати їхню взаємодію для адекватного і оперативного реагування на зміни, що відбуваються в реальному часі.

Вперше запропоновано принцип проектування проблемно-орієнтованих веб-сервісів, який *характеризується* налаштуванням такої сукупності моделей взаємопов'язаних компонентів СКСРІО ВД: узагальненої моделі організації проблемно-орієнтованих обчислень; загальної структури мультиагентної системи для оперативного реагування в екстрених ситуаціях з використанням організаційних концепцій агент-група-роль; моделі категоризації користувачів веб-служб на основі методу автоматичного породження гіпотез; моделі процесу персоналізації веб-ресурсу, в якій поєднуються агентські і нейромережеві технології; об'єктної моделі документів проблемно-орієнтованого веб-сервісу у вигляді графа, що в цілому дозволяє вирішувати комплексну задачу адаптації та персоналізації веб-порталу спільно з наданням спеціалізованих послуг.

Вперше запропоновано принцип побудови адаптивної веб-служби та метод персоналізації Інтернет-сервісу, які *характеризуються* сукупністю взаємопов'язаних дій: автоматичне вироблення гіпотез, що дає можливість визначити наявність або відсутність цільових властивостей користувача; аналіз поведінки користувача за його серфінгом в Інтернеті, що дозволяє видавати більш релевантні результати; побудова інформаційного портрета для збору статистично значущою сукупності інформаційних характеристик з метою планування подальших дій; паралельна кластеризація користувачів з використанням мап Кохонена з метою прискорення обробки великих даних, що в цілому дозволяє налаштовувати контент та надавати актуальну інформацію з різних аспектів пропонованого сервісу.

Вперше запропоновано моделі MapReduce Hadoop для розподіленої нейромережевої обробки великих даних, які *характеризуються* адаптацією топології передачі даних до відповідної архітектури нейронної мережі на обчислювальний кластер, що дозволяє скоротити обсяги переданої інформації між вузлами, підвищити швидкодію при вирішенні складних завдань, а також ефективно балансувати навантаженням обчислювальних ресурсів з різними топологіями передачі даних.

Вперше запропоновано Cloud-Fog-Dew архітектуру для персоналізованих сервіс-орієнтованих систем, яка *характеризується* поєднанням розподілених методів і засобів збору, зберігання, обробки та аналізу великих даних, що дозволяє використовувати результати віддаленого моніторингу при прийнятті рішень для своєчасного реагування при настанні екстреної ситуації, навіть при збоях віддаленого виклику або підключення до Інтернету.

Удосконалено методологію обробки великих даних нейронними мережами, яка *відрізняється* наявністю динамічного перерозподілу робіт між обчислювачами, що дозволяє рівномірно планувати навантаження обчислювального кластера з різними топологіями передачі даних.

Удосконалено методи відображення багатовимірних даних у простір малого розміру, які *відрізняються* запобіганням відображення багатовимірних даних в одну точку, що дозволяє усунути їх нерозрізненість у просторі малої вимірності.

Удосконалено методологію розподіленої інтелектуальної обробки зображень досліджуваного об'єкта, яка відрізняється можливістю online аналізу його поведінки, що забезпечує підвищення якості надання сервісів і зменшення часу відклику.

Набув подальшого розвитку метод узгодження дій агентів *шляхом* використання

засобів спілкування взаємодіючих сторін та стану системи у вигляді стійкості і цілісності, що дозволяє успішно функціонувати агентно-орієнтованій системі для оперативного реагування на критичні зміни обставин.

Набули подальшого розвитку методи розподілу робіт і координації групових дій агентів в агентно-орієнтованій системі *шляхом* динамічного розподілу ролей між агентами, що дозволяє для кожного зареєстрованого користувача розподілити поставлені завдання між агентами для своєчасного реагування при виникненні інциденту та підвищити ефективність спільних дій всіх учасників.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці:

- структури та базових модулів сервіс-орієнтованої комп'ютерної системи екстреного реагування на основі запропонованих моделей і методів, що дозволяє підвищити її продуктивність за якістю рішень і термінів отримання результатів з максимальною ефективністю використання ресурсів;

- методологічної основи побудови сервіс-орієнтованої комп'ютерної системи екстреного реагування в розподіленому середовищі із застосуванням методів прискореної обробки великих даних, що дозволяє враховувати цільові властивості користувачів та своєчасно надавати предметно-орієнтований сервіс;

- методологічної основи розподіленої обробки великих даних з урахуванням топології обчислювального кластера, із застосуванням методів перерозподілу робіт між обчислювачами, що дозволяє досягнути максимальної швидкості обчислень;

- методики спілкування взаємодіючих сторін мультиагентної системи для своєчасного реагування в ході виникнення інциденту.

Запропоновані методи і моделі доведені до рівня практичної реалізації:

- забезпечують доступ предметних користувачів до проблемно-орієнтованих програмних комплексів, дозволяють погоджувати дії взаємодіючих сторін та надавати своєчасно спеціалізовані послуги;

- принцип побудови адаптивної веб-служби та метод персоналізації Інтернет-сервісу дали можливість налаштовувати найбільш релевантний контент та своєчасно надавати актуальну інформацію з різних аспектів пропонованого сервісу;

- розроблена Cloud-Fog-Dew архітектура дозволила екстрено приймати рішення, навіть при відключенні Інтернету.

Результати дисертаційної роботи впроваджені: в інституті дерматології та венерології АМН України (акт про впровадження від 05.11.2007), у науково-виробничій фірмі з обмеженою відповідальністю «Технологія» (акт про впровадження від 18.05.2009), у практичну діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «Сана-мед» (акт про впровадження від 01.07.2009), у практичну діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «Ампер» (акт про впровадження від 07.12.2009), у школі мистецтв №2 м. Краматорська (акт про впровадження від 05.05.2010), у практичну діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «Маркет Репорт» (акт про впровадження від 07.02.2012), у практичну діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «Ипра-софт» (акт про впровадження від 17.05.2018), у Харківському національному університеті радіоелектроніки на кафедрі електронних обчислювальних машин у процесі проведення лекційних занять і лабораторних робіт з курсів «Паралельні та розподілені обчислення», «Інтелектуальні комп'ютерні системи», «Нейронні

обчислювальні системи», «Інтернет-технології та «Паралельне моделювання на інноваційних НРС системах» (акт про впровадження від 30.10.2018).

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором особисто. Роботу з експериментального дослідження методологічного, математичного та програмного забезпечення СКСПІО ВД та їх впровадження проведено разом із співавторами, прізвища яких наведено у бібліографічному списку.

Усі результати, представлені в роботі, отримані здобувачем самостійно. Розроблені автором методологічні основи синтезу та застосування розподілених СКС розглянуто як в одноосібних [1 – 5, 41, 48, 52, 53, 60, 61, 63, 64], так і у працях, виконаних у співавторстві.

У роботах, написаних у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: [6] – аналіз поведінки користувача за його серфінгом; [7] – використання Риманової метрики для визначення відстаней між точками на кусково-гладких самоорганізованих мапах Кохонена; [8] – прискорення побудови двовимірних кусково-гладких самоорганізованих мап Кохонена; [9] – методика розподіленого експертного оцінювання; [10] – розвиток моделі продуктивності навчання багат шарової нейронної мережі у розподіленому середовищі; [11] – використання нейронної мережі для медичного діагностування; [12] – модифікація ітеративних методів скелетонізації; [13] – прискорення навчання багат шарової нейронної мережі для топології передачі даних «зірка»; [14] – паралельна реалізація на багатоядерній архітектурі самоорганізованої мапи Кохонена, що зростає; [15] – визначення структури багат шарової нейронної мережі для розпізнавання зображень; [16] – адаптація багат шарового перцептрона на багатопроцесорні системи; [17] – розробка підходу до збільшення прискорення на мультіядерній кластерній системі; [18] – паралельна модифікація методу бінаризації із застосуванням шкал відтінків базових кольорів; [19] – розробка структури імовірнісної нейронної мережі для вирішення задач діагностики; [20] – паралельна модифікація методу скелетонізації бінарного зображення; [21] – порівняльний аналіз алгоритмів бінаризації зображень; [22] – організаційна концепція агент-група-роль для дистанційного моніторингу; [23] – вирішення задачі надання дистанційного сервісу на основі архітектури cloud-fog-dew; [24] – метод узгодження дій агентів в агентно-орієнтованій системі; [25] – модель прискореного розпізнавання жестів руки без застосування додаткових маніпуляторів; [26] – модель адаптації предметно-орієнтованого веб-сервісу; [27] – аналіз методів відображення багат вимірних даних на одновимірну кусково-гладку самоорганізовану мапу Кохонена; [28] – аналіз методів відображення багат вимірних даних на двовимірну кусково-гладку самоорганізовану мапу Кохонена; [29] – використання динамічного перерозподілу робіт між обчислювачами для навчання багат шарової нейронної мережі; [30] – розробка критеріїв ефективності системи віддаленого моніторингу; [31] – метод розподілу робіт агентів в агентно-орієнтованій системі; [32] – модель категоризації користувачів веб-служб на основі методу автоматичного породження гіпотез; [33] – аналіз методів побудови одновимірної кусково-гладкої самоорганізованої мапи Кохонена; [34] – прискорення нейромережевої обробки напівтонових зображень; [35] – аналіз послідовної та розподіленої

нейромережевої обробки великих даних; [36] – процедура рівномірного навантаження обчислювального кластера нейромережевою обробкою великих даних; [37] – розробка ефективного алгоритму навчання багатосарової мережі на системах з загальною пам'яттю; [38] – модифікація процесу класифікації зображень за допомогою гібридних нейронних мереж; [39] – визначення процесу класифікації напівтонових зображень, отриманих за допомогою тепловізора; [40] – інфраструктура нейромережевого визначення причинно-наслідкових зв'язків для проблемно-орієнтованого сервісу; [42] – метод адаптації предметно-орієнтованого веб-сервісу; [43] – метод відображення багатовимірних даних у простір малого розміру; [44] – Cloud-fog-dew архітектура для персоналізованих сервіс-орієнтованих систем; [45] – вирішена задача безпечного Інтернет-серфінгу; [46] – навчання гібридної нейронної мережі для прийняття рішень на високопродуктивних системах; [47] – хмарні обчислення для віддаленого моніторингу та діагностування; [49] – архітектура сервіс-орієнтованої системи розподіленої обробки великих даних; [50] – принцип побудови системи інтелектуального аналізу медичних даних; [51] – модель розподілених обчислень для нейромережевої діагностики і моніторингу; [54] – модель кооперації агентів сервіс-орієнтованої веб-системи; [55] – мультиагентна архітектура управління знаннями; [56] – модулі допомоги для екстреного реагування на основі розпізнавання емоцій; [57] – візуалізація Інтернет-користувачів на основі самоорганізованої мапи Кохонена; [58] – прискорений алгоритм кластеризації для аналізу великих даних; [59] – структура мультиагентної системи віддаленого моніторингу на основі організацій; [60] – метод взаємодії агентів у системі віддаленого моніторингу; [61] – модель мультиагентної системи на основі класифікаційної нейронної мережі; [62] – реалізація системи дистанційного спостереження за пацієнтом; [63] – призначення робіт у мультиагентній системі управління знаннями; [64] – організаційна модель мультиагентної системи для віддаленого діагностування; [65] – структура агентно-орієнтованого Інтернет-ресурсу; [66] – модулі допомоги для екстреного реагування на основі голосової верифікації особистості із застосуванням паралельно навченої нейронної мережі; [67] – використання нерегулярної решітки для побудови двовимірних кусково-гладких самоорганізованих мап Кохонена; [68] – реалізація методів візуалізації великої кількості багатовимірних даних за допомогою самоорганізованих мап Кохонена; [69] – візуалізація багатовимірних даних за допомогою самоорганізованих мап Кохонена; [70] – побудова зростаючої самоорганізованої мапи Кохонена; [71] – прискорення реалізації багатосарової нейронної мережі з рівномірним розподілом робіт між обчислювачами; [72] – моделювання адаптивного Інтернет-ресурсу засобами UML; [73] – порівняльний аналіз самоорганізованих мап Кохонена для візуалізації багатовимірних даних; [74] – паралельна реалізація самоорганізованої мапи Кохонена на багатоядерній архітектурі; [75] – метод паралельного формування самоорганізованих мап Кохонена; [76] – засоби збору інформації про користувачів веб-ресурсів; [77] – метод обробки індивідуальних переваг користувача з використанням агента; [78] – дослідження паралельної реалізації алгоритмів обробки великих даних; [79] – аналіз засобів прискорення навчання нейроалгоритмів з навчальною вибіркою великого розміру; [80] – підхід до поділу об'єктів для розпізнавання на статичні та динамічні в сервіс-орієнтованій системі; [81] – синтез нейрообробки великих даних на високопродуктивних архітектурах; [82] – метод адаптації Інтернет-ресурсу на основі

використання доступних даних про користувача; [83] – аналіз прискореної скелетонізації бінарного зображення; [84] – обчислювальна складність паралельної реалізації багаточислової нейронної мережі; [85] – дослідження підвищення продуктивності в програмуванні на багатоядерній кластерній системі; [86] – розподілена реалізація задачі класифікації зображень на основі нейронних мереж; [87] – розробка розподілених алгоритмів класифікації зображень на основі .NET REMOTING.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи апробовані на таких міжнародних конференціях і форумах: на Міжнародних конференціях "Интеллектуальный анализ информации» (Київ: ИАИ – 2008, ИАИ-«Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах » (Росія м. Санкт-Петербург, 2007, м. Нижній Новгород, 2007, м. Казань, 2008, м. Володимир, 2009, м. Пермь, 2014); на 15-й 17-й Міжнародних конференціях з автоматичного управління «Автоматика» (м. Одеса 2008, Харків 2010,); на 13-й і 14-й всеросійських науково-технічних конференціях «Нейроинформатика - 2011» та «Нейроинформатика - 2012» (Москва, Росія 2011, 2012); на 9-й всеросійській науковій конференції "Нейрокомпьютеры и их применение" (Москва, Росія 2011); на 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 5-й науково-практичних конференціях «Информатика, математическое моделирование, экономика» (Смоленськ, Росія: 2011, 2012, 2013, 2014, 2015); на Міжнародних наукових конференціях «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта» (Евпаторія: ISDMCI'2010, ISDMCI'2013, ISDMCI'2014, Залізний Порт: ISDMCI'2015, ISDMCI'2016, ISDMCI'2017, ISDMCI'2018); на Міжнародній науково-технічній конференції «Проблемы информатики и моделирования-2007» (м. Харків, 2007), на Міжнародній науковій конференції «Моделирование-2008» (м. Київ, 2008); на 10 Міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз і інформаційні технології» (м. Київ: 2008, 2009, 2010, 2013); на Міжнародній науковій конференції «Контроль і управління в складних системах» (Вінниця: КУСС-2014); на Міжнародній всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні та моделюючі технології (сучасний стан та шляхи розвитку інформаційних технологій та технологій моделювання програмних та інформаційних систем)» (Черкаси: ІМТ-2015); на Міжнародній конференції The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018, Kyiv, Ukraine; на 9-й Міжнародній конференції «The experience of designing and application of cad systems in microelectronics» (м. Львів, 2007); на 5-й Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології», (Коблево: 2016); на 2-й Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології», (Харків: 2017); на Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» (Чернівці: ПКТ–2016); на Міжнародних науково-практичних конференціях “Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії ” (Харків: 2017, 2018); на Міжнародних конференціях «International Scientific Conference «Information-Міжнародних науково-практичних конференціях «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)» (Черкаси: 2013, 2015, Київ: 2017); на

Міжнародній конференції з математичного моделювання (Херсон: МКММ-2018); на Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» (Харьков: ISM-2018); на Міжнародній конференції IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (LVIV, Ukraine: CSIT'2018).

Публікації. Матеріали дисертації повною мірою викладені у 87 публікаціях, з них – 2 за особистим авторством у колективній монографії, 41 у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, з них 4 статті опубліковано одноосібно, 4 статі англійською мовою; 20 статей включено у міжнародні наукометричні бази, 3 з яких включено у базу Scopus та WoS, 44 тези доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, (7 англійською мовою, з них 4 включені в міжнародну наукометричну базу Scopus).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 401 сторінку тексту, що містять 299 сторінок основного тексту, 2 анотації на 39 сторінках, 82 рисунка, 9 таблиць, список використаних джерел з 307 найменувань на 36 сторінках, 4 додатки на 66 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано проблему, мету і основні завдання досліджень, наведено відомості щодо зв'язку дисертації з планами організації, де виконана робота. Дано стислу анотацію отриманих у дисертації результатів, відзначено їх наукову новизну та практичну цінність, наведено дані щодо використання результатів проведених досліджень.

У **першому розділі** виконано системний аналіз існуючих технологій, моделей, методів синтезу, інтелектуалізації, підвищення ефективності та застосування комп'ютерних систем спеціального призначення. Розглянуто питання розвитку СКС.

Проведений аналіз показав, що існує множина проблем, які пов'язані з неможливістю обробки великих обсягів даних традиційними методами, з організацією розподілених та паралельних обчислень у сервіс-орієнтованих середовищах. Принциповою проблемою є інтеграція вже існуючих і розроблених програмних модулів в єдиний комплекс. Результатом інтеграції має бути не тільки забезпечення функціональних характеристик (розв'язання задачі), а й досягнення максимальної продуктивності.

На основі системного підходу проаналізовано існуючі методології проектування проблемно-орієнтованих сервісів та надано формалізацію процесу розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у СКС (рис. 1).

Вхідними даними є $H_D(i)$ – зображення досліджуваного об'єкта, в якого значення яскравості в точці з координатами (k, j) визначені як $h_{k,j} = \overline{0,255}$ ($h_{kj} = \overline{0,255}$, $k = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$), показники датчиків, вимірювальних та мобільних пристроїв та т.ін.; $H_P(i)$ – інформація про користувача веб-сервісів $U(i)$ ($i = \overline{1,M}$) (ім'я браузера, номер версії, мова, платформа, вбудовані розширення, адреса

попередньої сторінки, часовий пояс, час відвідування сторінки, інформація про монітор та т.ін.) $C(i) = [C^1(i), C^2(2), \dots, C^k(i)]$, які подаються у матричному вигляді $H(i) = \{H_D(i), H_P(i)\}$, ($i = \overline{1, M}$).

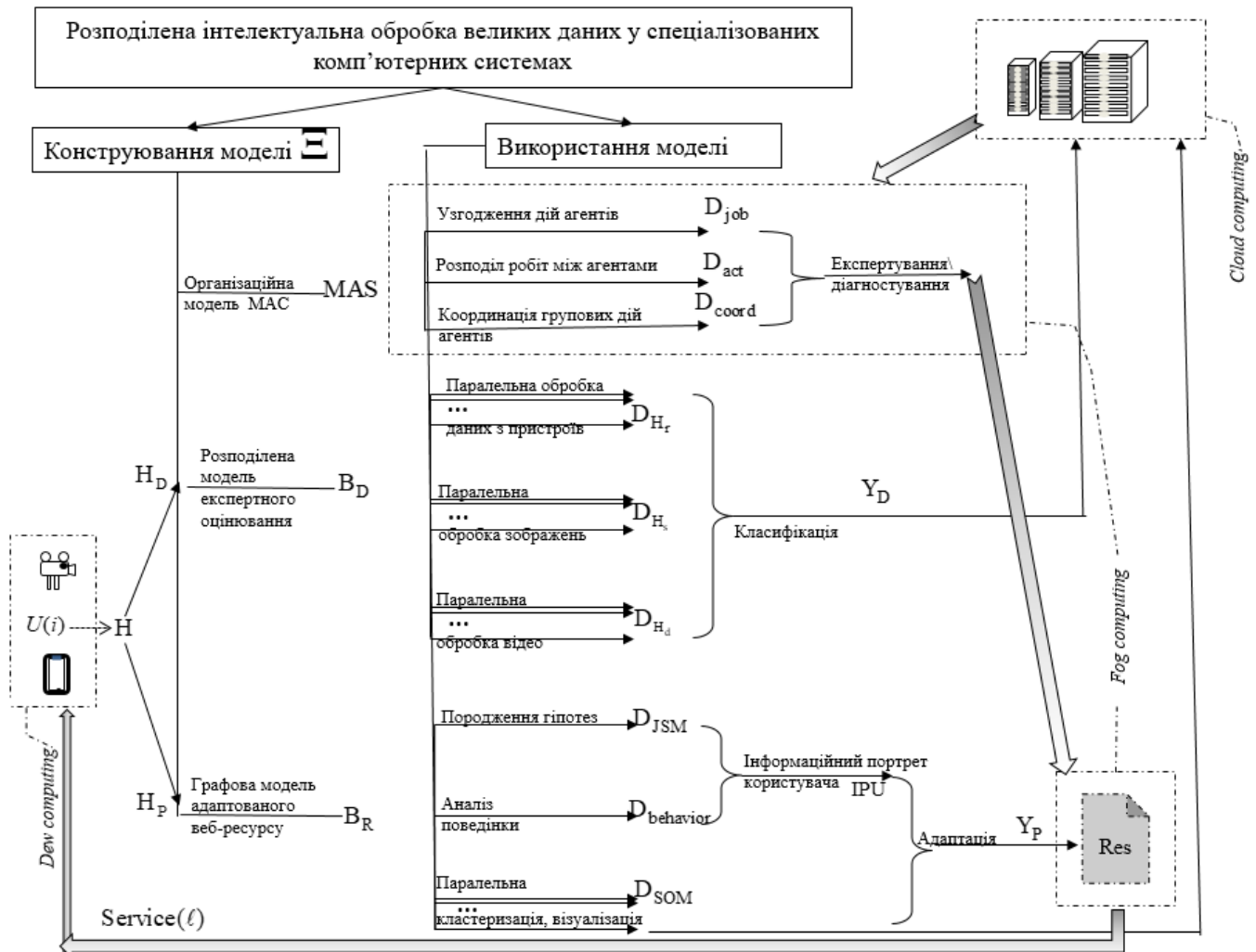


Рисунок 1 – Процес розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у СКС

Розподілена інтелектуальна обробка великих даних у СКС є процесом надання спеціалізованих послуг $Service(l)$, який передбачає наявність постійної підтримки експертів у даній проблемній області та консультативний супровід їхніх дій у діагностично складних випадках.

У загальному вигляді шуканий процес може бути поданий як розробка:

- узагальненої моделі організації проблемно-орієнтованих обчислень Ξ , її складових компонентів та їх взаємодії;

- методологічної основи побудови та функціонування СКС, яка забезпечує кожному користувачу $U(i)$ ефективний доступ до адаптованого під $R(n)$ -у категорію користувачів сервіс-орієнтованого середовища Res для надання спеціалізованих послуг $Service(l)$ та дозволяє оперативно реагувати на критичне зміння стану досліджуваного об'єкта.

Критерієм ефективності розробки є задоволення вимог

$$k : \forall (D_i \in D_{\Xi}) [(\tau^a < \tau^{\max}) \& (\tau^p < \tau^{\max}) \& (\tau^r < \tau^{\max}) \& (\varpi > \varpi^{\min})] \Rightarrow \Xi,$$

де D_i – підзадача спільного завдання D_{Ξ} , τ^a – час адаптації локального сайту, τ^p – час обробки діагностичних показників, τ^r – час відгуку системи; ϖ – ступінь релевантності відображуваної інформації.

Аналіз проблеми розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у СКС показав відсутність єдиного підходу до проектування та створення алгоритмічних та програмно-апаратних засобів взаємодії людини з комп'ютерними системами спеціального призначення, ефективно функціонуючих у розподілених обчислювальних середовищах. Не виконується глибинний аналіз причин появи суперечностей між методами постановки і вирішенням завдань, що важко формалізуються, з одного боку, і технічними можливостями УКС, з другого; не забезпечуються погодження продуманих рішень під час нагромадження та обробки величезної кількості інформації та не беруться до уваги особливості додатка й навколишнього середовища під час надання сервісу. Виникає необхідність розробки єдиного підходу та практичного інструментарію, який дозволив би забезпечити ефективний доступ до сервіс-орієнтованого середовища та передбачав би постійну підтримку експертів та консультативний супровід у складних випадках. Це свідчить про актуальність виконання дослідження і визначає тему дисертаційної роботи.

Наприкінці розділу, виходячи з проведеного аналізу, сформульовано проблему, поставлені мета та задачі наукового дослідження. Для вирішення зазначених проблем розроблено методологію, моделі, та методи, описані у наступних розділах роботи.

У **другому розділі** запропоновано методологічну основу побудови СКСПІО великих даних для вирішення трудомістких та погано формалізованих задач з екстремним реагуванням на критичну зміну стану досліджуваного об'єкта у розподіленому середовищі, який будується на використанні ряду технологій: технології мобільного зв'язку, збору, передачі та представлення інформації; веб-технології; технології Big Data; технології паралельних та розподілених обчислень; нейромережевої технології; агентно-орієнтованої технології та хмарні обчислення (рис. 2.).

Такий підхід забезпечує ефективний доступ до сервіс-орієнтованих обчислювальних середовищ, які надають сервіси найбільшому числу користувачів з використанням різноманітних датчиків і мобільних пристроїв та дозволяє створити мультиагентну систему оперативного реагування (МАС ОР) на критичне змінення стану досліджуваного об'єкта.

Для організації розподілених обчислювальних середовищ особливо значущою проблемою є розміщення у них проблемно-орієнтованих програмних комплексів, забезпечення віддаленого високорівневого доступу предметних користувачів до цих комплексів та управління ними в процесі обчислень.

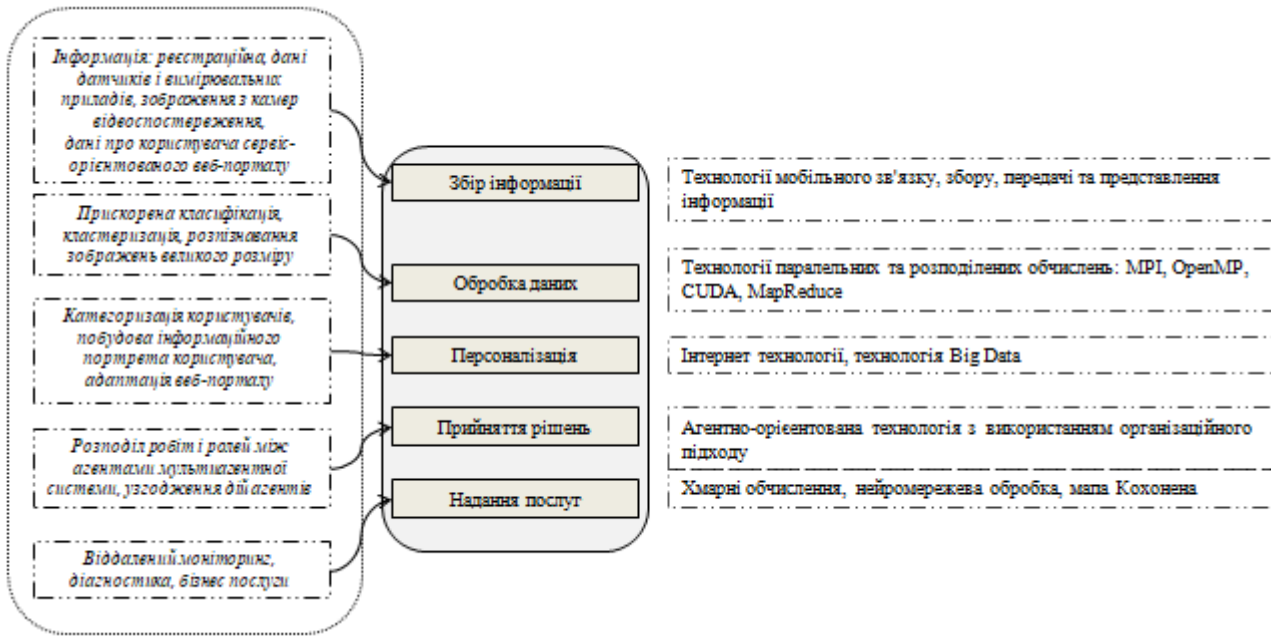


Рисунок 2 – Технології побудови СКСРІО великих даних

Запропоновано узагальнену модель організації проблемно-орієнтованих обчислень (рис. 3), яка виражається як перетворення вхідних значень H у вихідні величини Y :

$$\Xi \subset H \times Y, \quad (1)$$

Y , ($Y \subset \Upsilon$) – множина формалізованих властивостей.

Таким чином, простір (універсум) $\Sigma = X \times \Upsilon$ включає $\Xi \subset H \times Y$, це означає, що існує така підмножина H , ($H \subset X$) та відносини між ними, на яких будується модель Ξ , ($\Xi \subset \Sigma$).

Для вихідної величини Y побудована множина завдань, розв'язання яких належить множині $D_{\Xi} = \{D_H, D_P, D_{MAS}\}$: тут $D_H = \{D_{Hr}, D_{Hst}, D_{Hdn}\}$, де $D_{Hr} = \{R_1, R_2, \dots, R_r\}$ – завдання обробки реєстраційної інформації та показників датчиків, $D_{Hst} = \{M_1, M_2, \dots, M_{st}\}$ – завдання обробки зображень об'єктів у стані спокою (M_1 – виділення області інтересу, M_2 – бінаризація, M_3 – скелетонізація, ...), $D_{Hdn} = \{D_1, D_2, \dots, D_{dn}\}$ – завдання обробки зображень об'єктів у стані руху (прямолінійного, обертального, поступального, рівноприскореного та інших видів; $D_P = \{D_{JSM}, D_{behavior}, D_{SOM}\}$, де D_{JSM} – завдання породження гіпотез про наявність або відсутність певних властивостей користувача $U(i)$, $D_{behavior}$ – завдання аналізу поведінки користувача; D_{SOM} – завдання кластеризації користувачів за допомогою мережі Кохонена; $D_{MAS} = \{D_{job}, D_{act}, D_{coord}\}$, де D_{job} – завдання узгодження дій між агентами, D_{act} – завдання розподілу обсягів робіт між агентами, D_{coord} – завдання координації групових дій агентів.

Відображення $T: H_D \rightarrow Y_D$ дозволяє для кожного $H_D(i)$ знайти таке $Y_j \in Y_D$ ($j = \overline{1, Q}$, Q – кількість класів), що є розв'язком завдання D_H .

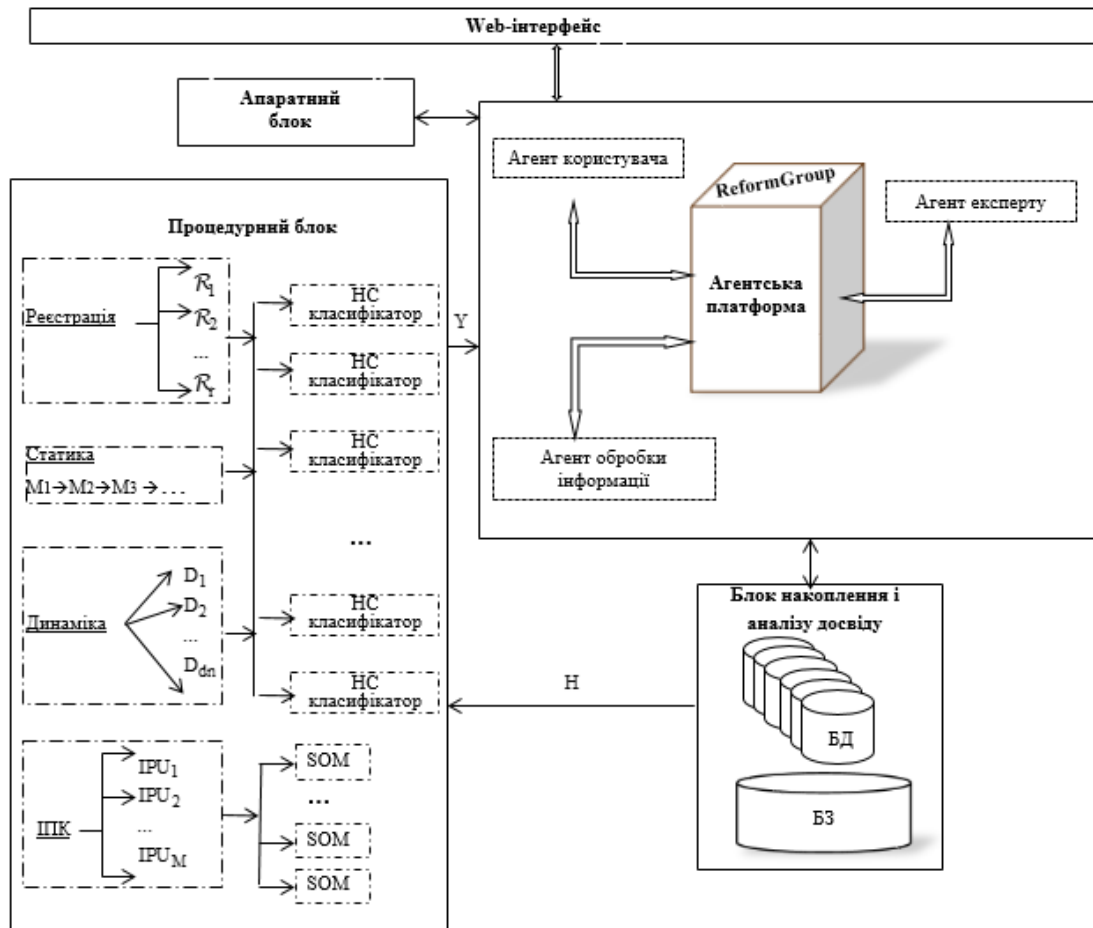


Рисунок 3 – Узагальнена модель організації проблемно-орієнтованих обчислень

Значення $Y_j \in Y_D$ використовуються для діагностики за допомогою нейромережевого класифікатора і розробки подальшої тактики поведінки.

Запропоновано модель персоналізації Інтернет-ресурсу Res, яка виражається як перетворення вхідних значень R у вихідні величини Y_P :

$$B_R \subset R \times Y_P. \quad (2)$$

Інтерфейс Інтернет-ресурсу, що надає сервіси для користувачів, адаптується на основі кластерів $R = \{R(1), R(2), \dots, R(L)\}$ завдяки моделі B_R при кінцевому числі веб-образів Ω . Для вихідних величин Y_P побудована множина завдань, розв'язання яких належать множині $D_P = D_{JSM} \cup D_{behavior} \cup D_{SOM}$.

Відображення $\Pi: R \rightarrow Y_P$ дозволяє для кожної категорії R(n) ($n = \overline{1, L}$) отримати таке $y_j \in Y_P$ ($j = \overline{1, \Omega}$), яке є розв'язком завдання D_P , отримане у вигляді графової моделі (3) ієрархічного подання адаптованого Інтернет-ресурсу

$$\overline{Res} = \langle \overline{X}, \Gamma^{-n}, y_j \rangle, \quad (3)$$

де $\overline{X} = \{\overline{X}_k\}$ – множина адаптованих сторінок ($k < \Delta$), сформованих у результаті відображення $\overline{X}_k = \Gamma^{-k}(x_m)$ множини цікавого для користувача інформаційного наповнення $x_m \subset x$.

Результатом етапу індукції є $2N$ множин гіпотез: $\Phi: C \rightarrow S$. Функція Φ , що відображається, для кінцевої множини $C(i)$ формує $(S_n^+ \cup S_n^-) \in S$ ($n = \overline{1, N}$), яке є розв'язанням завдання D_{JSM} , отримане у вигляді моделі породження гіпотез (4) ДСМ-методом

$$B_{JSM} \subset C \times S. \quad (4)$$

Побудовано поведінковий граф з метою обчислення важливості відвіданих сторінок. Кожне спрямоване ребро становить перехід між двома вершинами, що відображають кількість переходів в якості ваги сторінки. Граф переходів користувачів (5) є зваженим графом з ребрами, що містять ваги веб-сторінки, і вершинами, у вигляді URL адреси сторінок

$$G(i) = \langle V(i), W(i), T(i), TR(i), RS(i), \delta(i) \rangle, \quad (5)$$

де $V(i) = \{v_a(i)\}$ – множина вершин; $W(i) = \{w_{ab}(i)\}$ – множина ваг; $T(i) = \{t_a(i)\}$ – час відвідування; $TR(i) = \{tr_a(i)\}$ – глибина перегляду; $RS(i) = \{rs_a(i)\}$ – повернення в результати пошуку, приймає значення 0, якщо повернення не відбулося, 1 – якщо повернення відбулося; $(a, b = \overline{1, \dots, K})$ – кількість вершин у графі переходів; $\delta(i)$ – ймовірність скидання небезпечних сторінок.

Відображення $\Psi: G \rightarrow \mathfrak{R}$ дозволяє для $\forall U(i)$ отримати таке $\pi_i \in \mathfrak{R}$ (π_i – стаціонарна ймовірність розподілу процесів $X = \{X^t, t \geq 0\}$, X^t – сторінка, яку користувач відвідав під час t , ($t > 0$)), яке є розв'язком завдання $D_{behavior}$, отримане у вигляді моделі визначення важливості сторінок: $B_{behavior} \subset G \times \mathfrak{R}$.

Іншими словами, за часом відвідування сторінки, типу переходів та інформації про поведінку користувача на виході буде отримано значення показника важливості сторінки. Таким чином, отримуємо інформаційний портрет користувача

$$IPU(i) = [S(i), \mathfrak{R}(i)].$$

Відображення $\Upsilon: IPU \rightarrow R$ дозволяє для множини IPU отримати таке $r_i \in R$, яке є розв'язком завдання D_{SOM} , отримане у вигляді моделі категоризації користувачів веб-служб (6):

$$B_{SOM} \subset IPU \times R. \quad (6)$$

Результатом завдання $D_{MAS} = \{D_{job}, D_{act}, D_{coord}\}$ є множина $MAS = \{A, E, Res\}$, де адаптивні агенти A подано у вигляді $A = \{A_{user}, A_{expert}, A_{data}\}$, середовище E є програмною платформою для виконання агентів і надає функціональність для створення/знищення агентів, для прийому/передачі повідомлень; Res – об'єктна модель документів проблемно-орієнтованого веб-сервісу у вигляді графа (7)

$$Res = \langle X, Arc, Y_p \rangle, \quad (7)$$

де $X = \{X_a\}$ – множина вершин графа, що становить сторінки сайту, кожна сторінка $X_a = \{x\}$ подана множиною інформаційних елементів: текстові блоки, меню, посилання, графічні елементи і т.д. ($x = \{1, \dots, |x|\}$), Arc – множина дуг графа, при цьому дуга $arc = (a, b)$ належить графу тільки, якщо напрямок передбачається

заданим від вершини a до вершини b ($a, b = 1, \dots, \Delta$ – кількість вершин графа Res), $Y_P = \{y_c\}$ – множина інтерфейсів веб-ресурсів Res , $c = 1, \dots, \Omega$ – кількість образів веб-інтерфейсів.

Відображення $Service(H, Y) = Fasa(\overline{T(H_D, Y_D)}, \Pi(H_P, Y_P))$ дозволяє для кожного $H(i)$ отримати таке $y_j \in Y$ ($j = \overline{1, Ser}$, Ser – кількість сервісів), яке є розв'язком завдання D_{Ξ} , отримане у вигляді моделі MAS .

Отримані у другому розділі результати, що пов'язані з налаштуванням запропонованої сукупності моделей, дають можливість побудови персоналізованого проблемно-орієнтованого середовища. Запропоновано принципи адаптації веб-сервесів спеціального призначення. Вирішена актуальна задача персоналізації веб-служб, які надають бізнес послуги.

Третій розділ присвячено розробці способу своєчасного надання спеціалізованих послуг персоналізованими проблемно-орієнтованими системами.

Запропоновано Cloud-Fog-Dew архітектуру для персоналізованих сервіс-орієнтованих систем, яка дозволяє використовувати результати віддаленого моніторингу при прийнятті рішень для своєчасного реагування при настанні екстреної ситуації, навіть за відсутності підключення до Інтернету (рис.4).

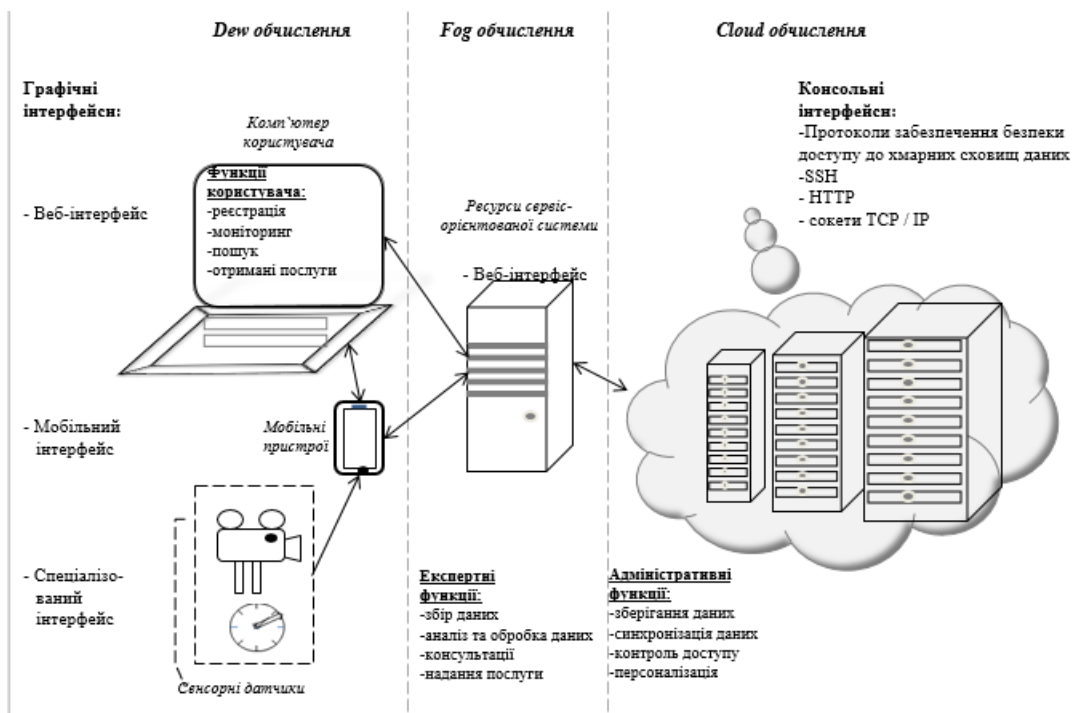


Рисунок 4 – Архітектура персоналізованої сервіс-орієнтованої системи

Dew-сервер, розгорнутий на локальному комп'ютері, надає клієнтові ті самі послуги, що й хмарний сервер, синхронізує свої бази даних з базами хмарних серверів, обслуговує тільки одного користувача й зберігає тільки власні дані користувача. Обсяг цього сервера набагато менше хмарного сервера й доступний користувачеві як з підключенням до Інтернету, так і без нього. Основним

призначенням Fog-сервера є наближеність до кінцевого користувача з метою підтримки мобільності пристроїв для різних геолокацій і з невеликою затримкою на обробку даних. Тут відбувається обробка даних у безпосередній близькості від джерела їх отримання, без необхідності передачі у великі Data-центри. На Cloud-сервері здійснюється збір, зберігання, обробка та аналіз великих даних, а також надаються глобальні послуги.

Запропоновано загальну структуру мультиагентної системи (МАС) для оперативного реагування в екстрених ситуаціях з використанням організаційної концепції агент-група-роль (рис. 5).

Мультиагентна система подається трійкою

$$MAS = \{A, E, Res\},$$

де $A = \{A_{user}, A_{expert}, A_{data}\}$ – множина агентів, що функціонують у середовищі, що становить програмну платформу для виконання агентів і надає функціональність для створення/знищення агентів, для застосування інтелектуальних методів для забезпечення сервісів і для приймання/передачі повідомлень; E – множина станів середовища; Res – Web-портал, що надає бізнес послуги, побудований на основі організаційної моделі для взаємодії агентів.

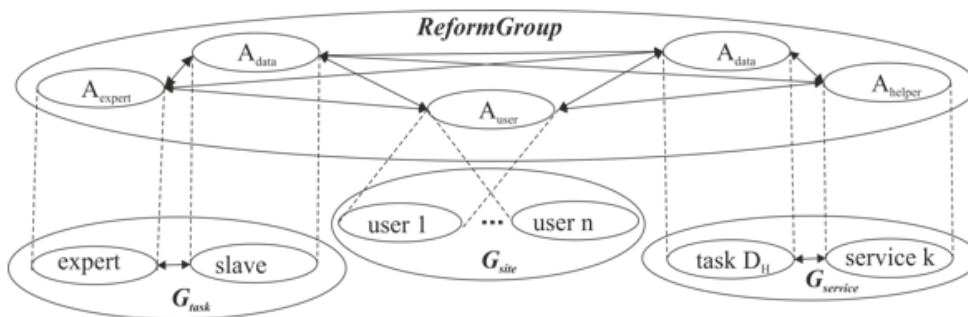


Рисунок 5 – Загальна структура МАС для оперативного реагування

Запропоновано метод кооперації агентів сервіс-орієнтованої веб-системи. Кожний агент описується таким набором

$$A_i = \{A_i^a, E_i^e, Feaa, A_i^s, Fase, Fasa\},$$

де A_i^a – множина дій агентів: $i=user$: «Агент користувача» A_{user} збирає інформацію про користувача веб-ресурсу та повертає результат; $i=expert$: «Агент експерта» A_{expert} звертається за наданням послуг; $i=data$: «Агент обробки даних» A_{data} передає/приймає інформацію для нагромадження та аналізу даних; $i=helper$: «Агент виконавець» A_{helper} виконує розпорядження експерта; E_i^e – множина станів зовнішнього середовища; $Feaa: A_i^a \times E_i^e \rightarrow 2^{A_i^a}$ – функції поведінки зовнішнього середовища; A_i^s – множина внутрішніх станів агентів (передає, отримує або очікує повідомлення); $Fase: A_i^s \times E_i^e \rightarrow A_i^s$ – функції відновлення стану агента; $Fasa: A_i^s \rightarrow E_i^e$ – функції

прийняття рішень для здійснення дій агентом за поточним внутрішнім станом: відображення $\Pi: P \rightarrow Y_P$ дозволяє для кожного користувача веб-ресурсу отримати таке $y_j \in Y_P$ ($j = \overline{1, \Omega}$), яке є рішенням завдання адаптації веб-ресурсу; функція $\Phi: C \rightarrow S$ для кінцевої множини доступних даних про користувача формує $S_n \in S$ ($n = \overline{1, N}$), яке є розв'язком завдання автоматичного породження гіпотез про наявності або відсутності певних властивостей Інтернет-користувача (C – множина доступних даних про користувача, S – гіпотези, що є причиною наявності цільової властивості, N – кількість цільових властивостей); відображення $\Gamma: G \rightarrow \mathfrak{R}$ дозволяє для будь-якого Інтернет-користувача одержати таке $\pi_i \in \mathfrak{R}$ (π_i – стаціонарна ймовірність розподілу процесів $X = \{X_t, t \geq 0\}$, X_t – сторінка, яку користувач відвідав під час t , ($t > 0$)), яке є розв'язком завдання аналізу поведінки користувача (G – граф веб-серфінгу користувача) і тощо.

Планувати дії агент може в такий спосіб

$$AP = \{A_i^a, P_i^{ap}, I_i^{ap}, \rho_{ap}, t_{ap,0}\},$$

де P_i^{ap} – множина сприйняття агентом станів зовнішнього середовища; I_i^{ap} – підмножина внутрішніх станів агента, що є частиною множини внутрішніх станів $I = I_i^{ap} \times I'$; $\rho_{ap} \subseteq P_i^{ap} \times I_i^{ap} \times I_i^{ap} \times A_i^a$ – відношення переходів, що визначає за сприйняттям p_i^{ap} поточне сприйняття зовнішнього середовища та поточний внутрішній стан плану t_i^{ap} ; $t_{ap,0} \in I_i^{ap}$ – початковий стан агента.

Результатом планування є множина ланцюжків переходів агентів з початкового стану в кінцевий, що реалізує поставлену мету.

Запропоновано метод розподілу робіт агентів у МАС, склад якої фіксований і є множиною неоднорідних (за функціями, тобто виконуючих різні функції) агентів $N = \sum n_m$, відомий сумарний обсяг робіт $R^A \geq 0$, який потрібно виконати, і задані типи агентів $\{A_{i,n_m}\} (m = \overline{1, k+j})$. Стани агентів включають виконувані ними функції F та обсяги робіт R^{A_i}

$$S = \langle F, R^{A_i} \rangle.$$

Отримано безперервне завдання мінімізації сумарних витрат агентів

$$\sum_{i=1}^{n_1} A_{1,i}(t) J_{1,i}(t) + \sum_{i=1}^{n_2} A_{2,i}(t) J_{2,i}(t) + \dots + \sum_{i=1}^{n_m} A_{m,i}(t) J_{m,i}(t) \rightarrow \min J_{m,i}(t) \in [0; d_i(t)],$$

де $d_i (i = \overline{1, N})$ – обсяг робіт, який може виконати будь-який агент МАС, J_{m,n_m} – обсяг робіт, виконуваний конкретним агентом.

Запропоновано метод узгодження дій агентів. Зобов'язання агентів $Com(pr, us, an, re)$ означають, що при виникненні антецедента результат буде отримано, коли виробник обслужить користувача (pr – виробник послуг, us –

користувач, *an* – антецедент, *re* – результат). Взаємодія між агентами може бути витлумачена з точки зору впливу на їх зобов'язання. Наприклад, пропозиція щодо прийняття ліків для зниження тиску від виробника послуг A_{expert} для споживача A_{user} може бути витлумачено як $Com(A_{expert}, A_{user}, \text{високий_тиск}, \text{прийняти_ліки_для_зниження_тиску})$. Іншими словами, якщо у пацієнта підвищився тиск, агент доктора A_{expert} посилає повідомлення агенту пацієнта A_{user} про прийняття ліків для зниження тиску.

Узгодження дій агентів A_i означає, що всі вони виконують зобов'язання на основі своїх спостережень. Під виконанням MAS розуміється перехід системи з одного стану в інший. Щоразу, коли агент відправляє або одержує повідомлення, система переходить у новий стан. Стани системи виражаються через стійкість і цілісність: система перебуває в стійкому стані, якщо повідомлення не посилаються і не приймаються.

Засіб спілкування. Агенти обмінюються повідомленнями. Модель комунікації складається з таких припущень:

1. Зв'язок «один-до-одного». $A_i.send(A_j, m)$ – агент A_i відправляє повідомлення m агентові A_j ($i, j = \{user, expert, helper, data\}$).

2. Агент спостерігає тільки ті повідомлення, які він відправляє або отримує.

3. Повідомлення достовірні. Повідомлення не створюються та не руйнуються інфраструктурою.

4. Повідомлення впорядковані. Упорядковані спостереження відправляються у вигляді повідомлень. Отримувач приймає повідомлення за порядком проходження.

Спостереження агента A_i в конкретному виконанні MAS описуються послідовністю повідомлень $\langle m_0, m_1, \dots, m_n \rangle_{A_i}$, спостереження мультиагентної системи описуються вектором

$$Obs = \left[Obs_{A_{expert}}, Obs_{A_{user}}, Obs_{A_{helper}}, Obs_{A_{data}} \right],$$

де Obs_{A_i} – послідовність спостережень агента A_i .

Спостереження Obs агентів $\forall A_i, A_j \in MAS$ слухні в тому випадку:

– якщо повідомлення $A_i.send(A_j, m_k)$ належить Obs_{A_j} , тоді повідомлення $A_i.send(A_j, m_k)$ належить і Obs_{A_i} ($k = \overline{0, n}$);

– якщо повідомлення $A_i.send(A_j, m_1)$ належить Obs_{A_j} і повідомлення $A_i.send(A_j, m_0)$ передуює повідомленню $A_i.send(A_j, m_1)$ в Obs_{A_j} , тоді повідомлення $A_i.send(A_j, m_0)$ передуює повідомленню $A_i.send(A_j, m_1)$ в Obs_{A_i} . Таким чином, спостереження Obs_{MAS} є множиною усіх станів системи MAS.

Стійкість. Система перебуває в стійкому стані, якщо ніякі повідомлення не приймаються і не передаються. Спостереження перебувають у стійкому стані, якщо

$\forall A_i, A_j \in MAS$ повідомлення $A_i.send(A_j, m_k)$ належить Obs_{A_i} , тоді повідомлення $A_i.send(A_j, m_k)$ належить Obs_{A_j} ($k = \overline{0, n}$).

Цілісність. Нехай Obs_{A_j} послідовність повідомлень виду $\langle m_0, m_1, \dots, m_n \rangle_{A_j}$. Тоді для будь-якого повідомлення m' форма $\langle m_0, \dots, m_n, m' \rangle_{A_j}$ є конкатенацією Obs_{A_j} з m' . Множина пропозицій $Seq(Obs_{A_j})$, яку можна вивести з множини Obs_{A_j} , є станом A_j після спостереження повідомлень в Obs_{A_j} . Обмеження цілісності виглядає в такий спосіб: $\lfloor m[Ant2:Ant1]m' \rfloor_{A_j}$, де $Ant2$ й $Ant1$ передумови і постумови впливу на m , m' – ефект впливу на m за умови виконання передумов і постумов.

Узгодженість. Узгодженість в багатоагентній системі виглядає в такий спосіб: $\lfloor \langle MAS \rangle \rfloor$, якщо $\forall Obs_{A_i} \in Obs_{MAS}$ спостереження Obs_{A_i} стійкі та повноцінні щодо обмежень цілісності:

$$\forall A_i, A_j \in MAS : Com(pr, us, an, re) \in Seq(Obs_{A_j}) \Rightarrow Com(pr, us, an, re) \in Seq(Obs_{A_i}).$$

Таким чином, спостереження одного і того самого антецедента постачальником послуг і користувачем призводить до здійснення однієї дії для досягнення бажаного результату.

Запропоновано метод взаємодії агентів. Для опису обміну повідомленнями між агентами скористаємося такими позначеннями: $A.send(B, m)$ – агент A відправляє повідомлення m агенту B ; $roleIn(r, g)$ – роль r визначена в групі g ; $plays(A, r, g)$ – агент A відіграє роль r у групі g ; $GStruct(g, gs)$ – $g \in$ групою, яка розглядається як екземпляр структури групи gs ; $member(A, g)$ – агент A є членом групи g .

Структурними аспектами моделі АГР є:

– кожний агент – член (принаймні, однієї) групи: $\forall A : Agent, \exists g : Group, member(A(i), g)$;

– кожний агент відіграє (хоча б одну) роль у групі: $\forall A : Agent, \forall g : Group \Rightarrow \exists r : Role, plays(A(i), r, g)$;

– агент є членом групи, у якій він виконує роль: $\forall A : Agent, \forall g : Group, \forall r : Role, plays(A(i), r, g) \Rightarrow member(A(i), g)$;

– роль визначена в структурі групи: $\forall A : Agent, \forall g : Group, \forall r : Role, plays(A(i), r, g) \Rightarrow \exists gs : GroupStructure \wedge GStruct(g, GS) \wedge roleIn(r, GS)$.

Використання отриманих у третьому розділі результатів дозволяє ефективно функціонувати сервіс-орієнтованій системі для своєчасного реагування при виникненні інциденту. Вирішена складна задача проектування мультиагентної системи оперативного реагування.

У **четвертому розділі** запропоновані методи рівномірного розподілу нейромережевої обробки даних в обчислювальному середовищі з топологіями «зірка», «повнозв'язний граф» та «гратка».

У загальному вигляді багатошарова нейронна мережа прямого поширення (MLP) задається архітектурою $n_1 - n_2 - \dots - n_L$, де n_1 – кількість нейронів у вхідному шарі, n_ℓ – кількість нейронів у схованих шарах, n_L – кількість нейронів у вихідному шарі. Навчальна вибірка $\{(X(1), D(1)), (X(2), D(2)), \dots, (X(K), D(K))\}$ складається з K прикладів $X(k) = [x^1(k), \dots, x^{n_L}(k)]^T$ і відповідних їм значень цільової ознаки $D(k) = [d^1(k), \dots, d^{n_L}(k)]^T$, $k = \overline{1, K}$. Для обробки навчальної й тестової вибірок потрібно U епох навчання.

Метод зворотного поширення помилки включає наступні вирази для пакетного режиму навчання.

Вектор виходів нейронів $Y_\ell(k) = [y_\ell^1(k), \dots, y_\ell^{n_\ell}(k)]^T$ шарів $\ell = \overline{1, L}$ обчислюється відповідно до

$$Y_\ell(k) = f\left(W_\ell(k)Y_{\ell-1}(k) + W_0^T(k)\right) =$$

$$= f\left(\begin{bmatrix} w_{11}(k) & w_{21}(k) & \dots & w_{n_{\ell-1}1}(k) \\ w_{12}(k) & w_{22}(k) & \dots & w_{n_{\ell-1}2}(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{1n_\ell}(k) & w_{2n_\ell}(k) & \dots & w_{n_{\ell-1}n_\ell}(k) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y_{\ell-1}^1(k) \\ y_{\ell-1}^2(k) \\ \dots \\ y_{\ell-1}^{n_{\ell-1}}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{01}(k) \\ w_{02}(k) \\ \dots \\ w_{0n_\ell}(k) \end{bmatrix}\right). \quad (8)$$

Причому $Y_1(k) = X(k)$, k – поточний приклад навчальної вибірки, $f(\bullet)$ – активаційна функція, $W_\ell(k) = (w_{ij}(k))_{i=0, j=1}^{n_{\ell-1}, n_\ell}$ – матриця вагових коефіцієнтів шарів $\ell = \overline{2, L}$, у якій елементи нульового рядка $W_0(k) = [w_{01}(k), w_{02}(k), \dots, w_{0n_\ell}(k)]$ матриці $W_\ell(k)$ є зсувом відповідного шару.

Вектор помилок реакції нейронів $\Sigma_\ell(k) = [\delta_\ell^1(k), \dots, \delta_\ell^{n_\ell}(k)]^T$ визначається для вихідного L -го шару

$$\Sigma_L(k) = Y_L(k)(1 - Y_L(k))(D(k) - Y_L(k)) \quad (9)$$

для схованих шарів $\ell = \overline{L-1, 2}$

$$\Sigma_L(k) = Y_\ell(k)(1 - Y_\ell(k))\Sigma_{\ell+1}(k)W_{\ell+1}(k) =$$

$$= \begin{bmatrix} y_\ell^1(k) \\ y_\ell^2(k) \\ \dots \\ y_\ell^{n_\ell}(k) \end{bmatrix} \left(1 - \begin{bmatrix} y_\ell^1(k) \\ y_\ell^2(k) \\ \dots \\ y_\ell^{n_\ell}(k) \end{bmatrix}\right) \times \begin{bmatrix} w_{11}(k) & w_{12}(k) & \dots & w_{1n_{\ell+1}}(k) \\ w_{21}(k) & w_{22}(k) & \dots & w_{2n_{\ell+1}}(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n_{\ell+1}1}(k) & w_{n_{\ell+1}2}(k) & \dots & w_{n_{\ell+1}n_{\ell+1}}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{\ell+1}^1(k) \\ \delta_{\ell+1}^2(k) \\ \dots \\ \delta_{\ell+1}^{n_{\ell+1}}(k) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

де роль одиниці відіграє одиничний вектор $1 = [1, 1, \dots, 1]^T$.

Настроювання вагових коефіцієнтів шарів $\ell = \overline{2, L}$ нейронів $j = \overline{1, n_\ell}$ здійснюється відповідно до

$$w_{ij}(k+1) = \eta \delta_\ell^j(k) y_\ell^j(k) + \alpha w_{ij}(k), \quad (11)$$

де η – параметр швидкості навчання, α – коефіцієнт інерційності.

Визначення поточної середньоквадратичної помилки навчання E здійснюється на основі

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K (D(k) - Y_L(k))^2. \quad (12)$$

Визначення помилки узагальнення під час тестування нейронних мереж здійснюється відповідно до

$$E_g = \frac{1}{K} \sum_{t=1}^T \Delta_t, \quad (13)$$

де Δ_t визначається на основі

$$\Delta_t = \begin{cases} 1, & \text{якщо } D(t) \neq y(t), \\ 0, & \text{якщо } D(t) = y(t). \end{cases}$$

Запропоновано модель MapReduce для розподіленої нейромережевої обробки великих даних MRMLP.

Кожний навчальний приклад для рівномірного розподілу нейромережевої обробки даних в обчислювальному середовищі з топологією «зірка» та інформація, обумовлена форматом (14), зберігаються в одному файлі HDFS (Hadoop Distributed File System). У каталозі HDFS може розташовуватися будь-яка кількість файлів. Для кожного навчального прикладу виконуються співвідношення (14) – (21), які будуть виконуватися доти, доки не буде досягнута бажана точність відповідно до (12)– (13).

При першому запуску функції Map (Mapping process 1) ініціалізується один запис із файлу HDFS у такому форматі

$$\langle \text{Key}M1_h, X(k), W_{\ell_h}(k), D_h(k) \rangle, \quad (14)$$

де $\text{Key}M1_h$ – є h -м запуском функції Map, $h = \overline{0, P-1}$; $W_{\ell_h}(k)$ – підматриці ваг розмірністю $n_{\ell-1} \times |g_h|$ матриці

$$W_\ell(k) = [W_{\ell_1}(k), W_{\ell_2}(k), \dots, W_{\ell_{p-1}}(k)] \quad (\ell = \overline{0, L-1});$$

$D_h(k)$ – групи значень цільової ознаки $D(k) = [D_1(k), D_2(k), \dots, D_{p-1}(k)]^T$.

На виході цієї функції обчислюються g_h -і виходи нейронів з використанням співвідношення (8)

$$\langle \text{Key}M1_h, Y_{\ell_h}(k), \{W_{\ell_h}(k), D_h(k)\} \rangle, \quad (15)$$

де $Y_{\ell_h}(k)$ – групи наборів нейронів $Y_{\ell}(k) = [Y_{\ell_1}(k), Y_{\ell_2}(k), \dots, Y_{\ell_{p-1}}(k)]^T$, ($\ell = \overline{2, L}$);

$$g_h = \begin{cases} (h-1)\left(\left[\frac{n_{\ell}}{P-1}\right]+1\right) + \varphi, \quad \varphi = 1, \overline{\left(\left[\frac{n_{\ell}}{P-1}\right]+1\right)}, & \text{якщо } 1 \leq h \leq b; \\ (P-1-h_d)\left(\left[\frac{n_{\ell}}{P-1}\right]+1\right) + (h-P-1+b-1)\left[\frac{n_{\ell}}{P-1}\right] + \varphi, \quad \varphi = 1, \overline{\left[\frac{n_{\ell}}{P-1}\right]}, & \text{якщо } b \leq h \leq P-1; \end{cases} \quad (16)$$

g_h – зростаюча послідовність, елементами якої є номери нейронів $\ell = \overline{2, L}$ шарів, які обробляються h -м процесором; $b = n_{\ell} \bmod (P-1)$ – номер обчислювача, після якого для $h_d = P-1-b$ комп'ютерів, починаючи з $(b+1)$ -го процесора, кількість оброблюваних нейронів зменшується на один для рівномірного завантаження.

Функція Reduce (Reducing process 2), пов'язана з $KeyM1_h$, збирає всі результати $Y_{\ell_h}(k)$ ($h = \overline{0, P-1}$)

$$\langle KeyR2_0, Y_{\ell}(k), \{Y_{\ell_h}(k)\} \rangle. \quad (17)$$

Наступний запуск функції Map (Mapping process 3) формує локальні помилки для g_h -х наборів нейронів вихідного шару відповідно до (9):

$$\langle KeyM3_h, \Sigma_{L_h}(k), \{Y_{\ell}(k), D_h(k)\} \rangle, \quad (18)$$

де $\Sigma_{L_h}(k)$ – групи помилок реакції нейронів

$$\Sigma_L(k) = [\Sigma_{L_1}(k), \Sigma_{L_2}(k), \dots, \Sigma_{L_{p-1}}(k)]^T.$$

Відповідно функція Reduce (Reducing process 4) формує загальний вектор $\Sigma_L(k)$

$$\langle KeyR4_0, \Sigma_L(k), \{\Sigma_{L_h}(k)\} \rangle. \quad (19)$$

На основі (10) функція Map (Mapping process 5) визначає локальні помилки $\Sigma_{\ell_h}(k)$ g_h -х наборів нейронів схованих шарів $\ell = \overline{L-1, 2}$ для створення векторів $\Sigma_{\ell}(k)$

$$\langle KeyM5_h, \Sigma_{\ell_h}(k), \{Y_{\ell}(k), \Sigma_{\ell+1}(k), W_{\ell+1}(k)\} \rangle, \quad (20)$$

де $\Sigma_{\ell}(k) = [\Sigma_{\ell_1}(k), \Sigma_{\ell_2}(k), \dots, \Sigma_{\ell_{p-1}}(k)]^T$, ($h = \overline{1, P-1}$).

Далі функція Reduce (Reducing process 6) формує загальний вектор $\Sigma_{\ell}(k)$

$$\langle KeyR6_0, \Sigma_{\ell}(k), \{\Sigma_{\ell_h}(k)\} \rangle. \quad (21)$$

Коректування елементів підматриць $W_{\ell_h}(k+1)$ розмірністю $n_{\ell-1} \times |g_h|$ матриць $W_{\ell}(k+1)$ шарів $\ell = \overline{2, L}$ відповідно до (4) здійснюється функцією Map (Mapping process 7)

$$\langle \text{KeyM7}_h, W_{\ell_h}(k+1), \{Y_{\ell}(k), W_{\ell}(k)\} \rangle. \quad (22)$$

Складання матриць $W_{\ell}(k+1)$ здійснюється функцією Reduce

$$\langle \text{KeyR8}_0, W_{\ell}(k+1), \{W_{\ell_h}(k+1)\} \rangle. \quad (23)$$

Обчислення середньоквадратичної помилки навчання E здійснюється на основі (12).

Модель MapReduce для розподіленої нейромережевої обробки даних у розподіленому середовищі з топологією «зірка» наведена на рис. 6.

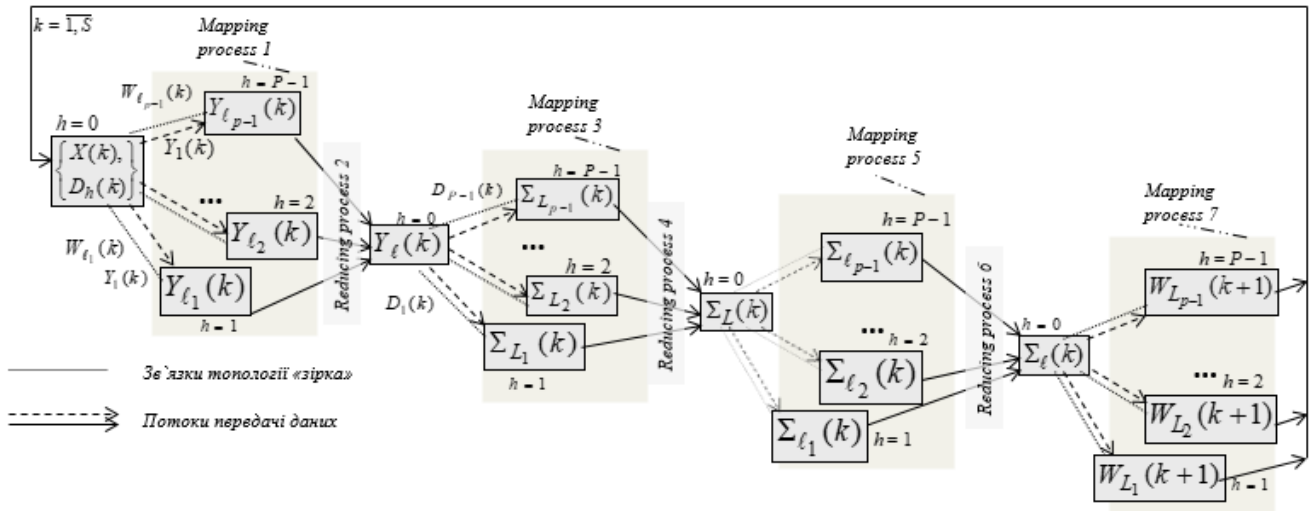


Рисунок 6 – Модель MapReduce для розподіленої нейромережевої обробки у розподіленому середовищі з топологією «зірка»

Вершинам графа відповідають незалежні паралельні операції, а спрямованим дугам – передачі даних між обчислювачами.

Кожний навчальний приклад для рівномірного розподілу нейромережевої обробки даних в обчислювальному середовищі з топологією «повнозв’язний граф» та інформація, обумовлена форматом (24), зберігаються в одному файлі HDFS. Для кожного навчального прикладу виконуються відповідні співвідношення доти, доки не буде досягнута бажана точність відповідно до (12) – (13).

Перший запуск функції Map (Mapping process 1) ініціалізує один запис із файлу HDFS у наступному форматі

$$\langle \text{KeyM1}_h, X(k), W_{\ell_h}(k), D(k) \rangle, \quad (24)$$

де KeyM1_h – h -й запуск функції Map, $h = \overline{0, P-1}$; $W_{\ell_h}(k)$ – підматриці ваг розмірністю $n_{\ell-1} \times |r_h|$ матриць $W_{\ell}(k) = [W_{\ell_0}(k), W_{\ell_1}(k), \dots, W_{\ell_{p-1}}(k)]$ ($\ell = \overline{2, L}$) для поточного k -го прикладу навчальної вибірки значень цільової ознаки $D(k) = [D_0(k), D_1(k), \dots, D_{p-1}(k)]^T$, обумовлених відповідно до наборів нейронів у

зростаючій послідовності r_h (25), елементами якої є номери нейронів $\ell = \overline{2, L}$ шарів, які обробляються h -м процесором;

$$r_h = \begin{cases} h \left(\left\lceil \frac{n_\ell}{P} \right\rceil + 1 \right) + \varphi, & \varphi = 1, \left(\left\lceil \frac{n_\ell}{P} \right\rceil + 1 \right), \text{ якщо } 0 \leq h \leq b; \\ (P - h_d) \left(\left\lceil \frac{n_\ell}{P} \right\rceil + 1 \right) + (h - P + b) \left\lceil \frac{n_\ell}{P} \right\rceil + \varphi, & \varphi = 1, \left\lceil \frac{n_\ell}{P} \right\rceil, \text{ якщо } b \leq h \leq P - 1; \end{cases} \quad (25)$$

$b = n_\ell \bmod(P)$ – номер обчислювача, після якого для $h_d = P - b$ комп'ютерів, починаючи з $(b + 1)$ -го процесора, кількість оброблюваних нейронів зменшується на один для рівномірного завантаження. У результаті роботи функції будуть обчислені r_h -і виходи нейронів з використанням співвідношення (8)

$$\left\langle KeyM1_h, Y_{\ell_h}(k), \{W_{\ell_h}(k), D_h(k)\} \right\rangle, \quad (26)$$

де $Y_{\ell_h}(k)$ – групи наборів нейронів $Y_\ell(k) = [Y_{\ell_0}(k), Y_{\ell_1}(k), \dots, Y_{\ell_{p-1}}(k)]^T, \ell = \overline{2, L}, h = \overline{0, P-1}$.

Модель MapReduce для розподіленої нейромережевої обробки даних у розподіленому середовищі з топологією «повнозв'язний граф» наведена на рис. 7.

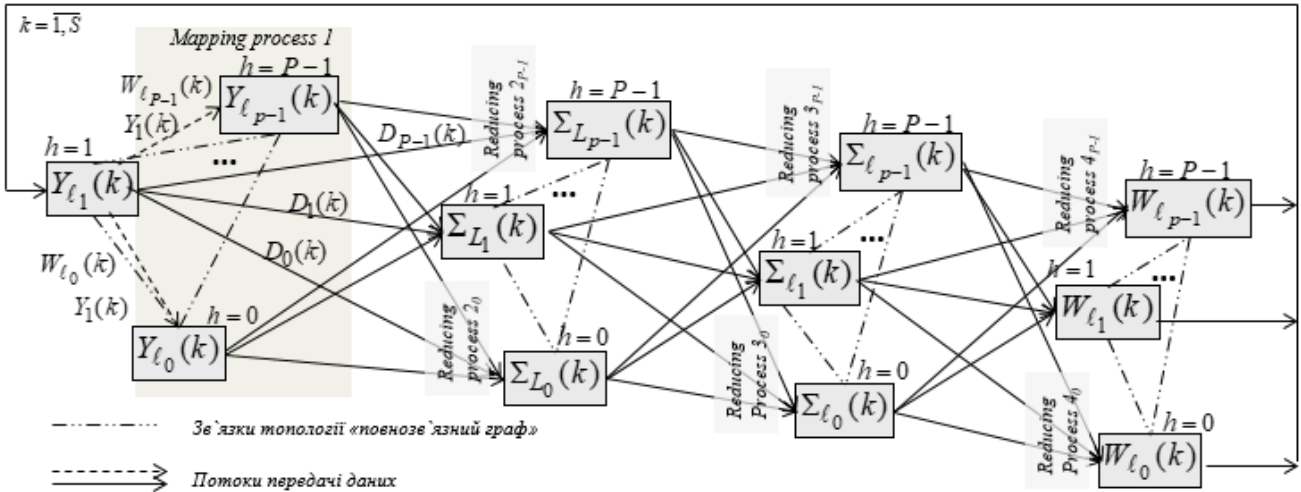


Рисунок 7 – Модель MapReduce для розподіленої нейромережевої обробки у розподіленому середовищі з топологією «повнозв'язний граф»

Результати проведених експериментів, у яких реалізовані паралельні процедури навчання MRMLP на топологіях передачі даних «зірка» і «повнозв'язний граф» з різними обсягами вихідних даних наведені в табл. 1.

Метод рівномірного розподілу нейромережевої обробки даних поетапно й рівномірно завантажує обчислювачі роботою шляхом автоматичного розподілу оброблюваних даних у розподіленому обчислювальному середовищі з топологіями передачі даних «зірка» і «повнозв'язний граф». Відмінності методів полягають в

обсязі обчислювальних робіт, що розподіляються між обчислювачами, а також у кількості та нумерації обчислювачів.

Таблиця 1

Час виконання процедури паралельного навчання MRMLP
у розподіленому середовищі на різних топологіях передачі даних

Час виконання послідовної реалізації (сек)	Реалізація на кластері	
	Топологія передачі даних	Час (сек)
Обсяг навчальної вибірки 650000		
923	«зірка»	219
	«повнозв'язний граф»	226
Обсяг навчальної вибірки 1050000		
3613	«зірка»	759
	«повнозв'язний граф»	892
Обсяг навчальної вибірки 2460000		
5431	«зірка»	925
	«повнозв'язний граф»	1052

Застосування процедури паралельного навчання MLP на основі MapReduce дозволило скоротити час обчислень в ході збільшення обсягів навчальної й тестової вибірок. Рівномірний поділ часток паралельного коду між обчислювачами значно підвищило ефективність процедури навчання.

Обчислювальна складність методу рівномірного розподілу нейромережевої обробки даних з топологіями мережі передачі даних «зірка», «повнозв'язний граф», «гратка» має той самий порядок, оскільки при паралелізмі на рівні реалізації функцій нейронів загальна кількість незалежних паралельних скалярних операцій збігається.

У **п'ятому розділі** вирішено візуалізацію багатовимірних даних. Для заданої множини даних $X = \{X^1, \dots, X^N\}$, $X^c = (x_1^c, \dots, x_n^c)^T$, $c = \overline{1, N}$, $n > 3$ знайдений такий функціонал-відображення $U: R^n \rightarrow R^m$ ($m=1$ або $m=2$), який мінімізує критерій якості $Q(U, X) \rightarrow \min$ за допомогою побудованої кусково-гладкої мапи Кохонена (КГМК) шляхом апроксимації кусково-лінійної мапи Кохонена параметричною сплайн поверхнею мінімального дефекту, де множина вихідних нейронів $W = \{W^1, \dots, W^l\}$ має координати $W^i = (w_1^i, \dots, w_n^i)^T$, $i = \overline{1, l}$, l – кількість вихідних нейронів; на множині W задано триангуляцію $T = \{T^1, \dots, T^M\}$, де $T^k = \{T_1^k, T_2^k, T_3^k\}$, $k = \overline{1, M}$, M – кількість трикутників, T_p^k – номер нейрона в множині W , $T_p^k \in \{1, N\}$, $p = \overline{1, 3}$.

Для визначення параметрів сплайн поверхні A складена система лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), яка визначає залежність між параметрами. Використовуючи умови проходження $S^k(t_1, t_2)$ в точках $\{(0,0), (1,0), (0,1)\}$

топологічної системи координат через відповідно точки $\{W^{T_1^k}, W^{T_2^k}, W^{T_3^k}\}$ в n -вимірному евклідовому просторі запишемо $3nM$ рівнянь

$$\begin{cases} S^k(t_1, t_2) \Big|_{t_1=0, t_2=0} = W^{T_1^k}, \\ S^k(t_1, t_2) \Big|_{t_1=1, t_2=0} = W^{T_2^k}, \\ S^k(t_1, t_2) \Big|_{t_1=0, t_2=1} = W^{T_3^k}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_{00}^k = W^{T_1^k}, \\ \sum_{i=0}^3 A_{i0}^k = W^{T_2^k}, \\ \sum_{j=0}^3 A_{0j}^k = W^{T_3^k}, \end{cases} \quad k = \overline{1, M}. \quad (27)$$

Для упорядкування умов гладкого зіткнення розглянуто два трикутника $T^{k_1} \in T$ та $T^{k_2} \in T$, які мають загальну сторону, що рівносильно збігу двох точок трикутників T^{k_1} та T^{k_2} , тоді умови гладкого збігу мають вигляд:

$$\begin{aligned} S^{k_1}(t_1, t_2) \Big|_{\partial\Omega} = S^{k_2}(t_1, t_2) \Big|_{\partial\Omega}, \quad \frac{\partial S^{k_1}(t_1, t_2)}{\partial t_1} \Big|_{\partial\Omega} = - \frac{\partial S^{k_2}(t_1, t_2)}{\partial t_1} \Big|_{\partial\Omega}, \\ \frac{\partial^2 S^{k_1}(t_1, t_2)}{\partial t_1^2} \Big|_{\partial\Omega} = \frac{\partial^2 S^{k_2}(t_1, t_2)}{\partial t_1^2} \Big|_{\partial\Omega}, \end{aligned} \quad (28)$$

де $\partial\Omega$ – крива дотику поверхонь $S^{k_1}(t_1, t_2)$ и $S^{k_2}(t_1, t_2)$.

Існує 21 випадок зіткнення сторін двох трикутників. Для кожного випадку з системи (28) може вийти або $12n$, або $18n$ лінійних рівнянь. Після аналізу всіх пар трикутників на збіг сторін і складання СЛАР залежності між параметрами даних визначається її ранг r .

Якщо $r \geq N_A$, тоді видаляються $(r - N_A)$ нееквівалентних рівнянь з системи, що призведе до зменшення дефекту сплайн поверхні. Таким чином, система рівнянь стане сумісною і матиме єдине розв'язання, яке однозначно визначає параметри сплайн поверхні. Якщо $r < N_A$, тоді параметри системи r визначаються через $(N_A - r)$ параметрів. Решта параметрів визначається шляхом розв'язання задачі мінімізації відхилення сплайн поверхні від кусково-плоскої мапи

$$\sum_{k=1}^M \sum_{p=1}^n \int_0^1 dt_1 \int_0^{1-t_1} \left(s_p^k(t_1, t_2) - x_p^{T_1^k} - \left(x_p^{T_3^k} - x_p^{T_1^k} \right) t_1 - \left(x_p^{T_2^k} - x_p^{T_1^k} \right) t_2 \right)^2 dt_2 \rightarrow \min.$$

Проведено аналіз СЛАР для встановлення зв'язку параметрів прямокутних та гексагональних мап Кохонена. СЛАР складається з $28n(l_1 - 1)(l_2 - 1) - 12n(l_1 - l_2 - 2)$ рівнянь і має ранг

$$\begin{aligned}
r &= [28n(l_1 - 1)(l_2 - 1) - 12n(l_1 - 1) - 12n(l_2 - 1)] - \\
&\quad - [2n(l_1 - 1)(l_2 - 2) + 2n(l_1 - 2)(l_2 - 1) + 8n(l_1 - 2)(l_2 - 2)] = \\
&\quad = 16n(l_1 - 1)(l_2 - 1) - 2n(l_1 - 1) - 2n(l_2 - 1) - 8n.
\end{aligned}$$

Якщо виразити параметри сплайн поверхні через

$$\begin{aligned}
&\{A_{01}^{(1,1)}, A_{02}^{(1,1)}, A_{10}^{(1,1)}, A_{11}^{(1,1)}, A_{12}^{(1,1)}, A_{13}^{(1,1)}, A_{20}^{(1,1)}, A_{21}^{(1,1)}, \\
&A_{22}^{(1,1)}, A_{23}^{(1,1)}, A_{31}^{(1,1)}, A_{32}^{(1,1)}, A_{31}^{(k_1,1)}, A_{32}^{(k_1,1)}, A_{13}^{(1,k_2)}, A_{23}^{(1,k_2)}\}, \\
&k_1 = \overline{2, l_1 - 1}, *k_2 = \overline{2, l_2 - 1},
\end{aligned}$$

то методом прогонки СЛАР можна вирішити за лінійний час $O(n(l_1 + l_2))$.

Проекція точки елемента $X^c \in X$ на мапу, що подана параметричною сплайн поверхнею $S(t_1, t_2)$, визначається розв'язком системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial S(t_1, t_2)}{\partial t_1} \cdot (S(t_1, t_2) - X^c) = 0, \\ \frac{\partial S(t_1, t_2)}{\partial t_2} \cdot (S(t_1, t_2) - X^c) = 0, \end{cases} \quad c = \overline{1, N}.$$

Результатом відображення даних є множина \tilde{X} (рис.8).

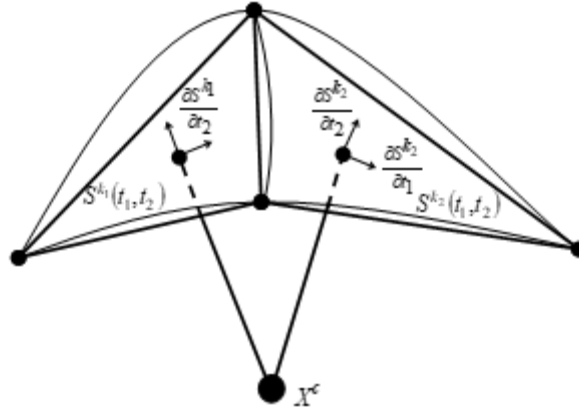


Рисунок 8 – Відображення елемента X^c на сплайн поверхню $S(t_1, t_2)$

Для визначення якості візуалізації даних мапами Кохонена пропонується використовувати такі критерії:

1. Кількість даних, що відображаються в одну і ту ж точку на мапі:

$$K_r = \sum_{c=1}^M (m(\tilde{X}^c) - 1), \quad (29)$$

де $m(\tilde{X}^c)$ – кількість елементів $\tilde{X}^c \in \tilde{X}$, $\sum_{c=1}^M m(\tilde{X}^c) = N$, M – кількість точок на мапі.

2. Кількість точок, відображених у згинання або на межу мапи Кохонена

$$K_g = |\bar{X}|, \bar{X} = \left\{ \tilde{X}^c \mid \tilde{X}_1^c \in Z \vee \tilde{X}_1^c = 1 - b \vee \tilde{X}_1^c = l + b \vee \right. \\ \left. \vee \tilde{X}_2^c \in Z \vee \tilde{X}_2^c = 1 - b \vee \tilde{X}_2^c = l + b \right\}, c = \overline{1, N}, \quad (30)$$

де $|\bullet|$ – потужність множини, $b \geq 0$ – дійсна величина, на яку продовжується мапа.

3. Середня квадратична відстань точок у n -вимірному евклідовому просторі до мапи Кохонена

$$K_o = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{c=1}^N \rho^2(X^c, \tilde{X}^c)}, \quad (31)$$

де $\rho(\bullet, \bullet)$ – евклідова відстань.

4. Помилка візуалізації даних в евклідовій метриці (оцінка зміни в структурі даних після відображення на мапу)

$$K_v = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left(\frac{\rho(X^i, X^j)}{V} - \frac{\rho(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j)}{\tilde{V}} \right)^2}, \quad (32)$$

де

$$V = \max_{\substack{i=1, N-1 \\ j=i+1, N}} \rho(X^i, X^j), \tilde{V} = \max_{\substack{i=1, N-1 \\ j=i+1, N}} \rho(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j). \quad (33)$$

Результати порівняльного аналізу методів візуалізації багатовимірних даних з використанням різних мап Кохонена наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз методів візуалізації багатовимірних даних за допомогою мап Кохонена

Критерій	Дискретна мапа Кохонена	Кусково-плоска мапа Кохонена	Кусково-гладка мапа Кохонена
K_r	178	12	2
K_g	250	110	17
K_o	0,06799	0,06607	0,05679
K_v	0,3122	0,30723	0,25911

З таблиці видно, що візуалізація даних за допомогою кусково-гладких самоорганізованих мап Кохонена дозволяє практично повністю розрізнити дані на мапі, зменшити відхилення мапи від даних і помилку візуалізації багатовимірних даних при лінійній обчислювальній складності алгоритму.

Запропонований метод відображення багатовимірних даних дозволяє швидко візуалізувати велику кількість багатовимірних даних, володіє нелінійністю та дозволяє розрізнити дані на карті. Обчислювальна складність запропонованого методу лінійно залежить від початкових даних.

Шостий розділ присвячено розвитку принципів розподіленої інтелектуальної

обробки зображень досліджуваного об'єкта. Розглянуто питання прискореної обробки півтонових зображень. Проведено аналіз існуючих методів обробки зображень, які покращують якість зображень на основі нейромережових алгоритмів та технологій паралельних обчислень. Оскільки зображення, що обробляються, мають зазвичай великі розміри та потребують значного часу обробки, виникає необхідність розробки методів, що дозволяють скоротити час обробки та уникнути «прокляття розмірності».

Обробка вихідного зображення у вигляді матриці

$$H(i) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(i) & h_{1,2}(i) & \cdots & h_{1,n}(i) \\ h_{2,1}(i) & h_{2,2}(i) & \cdots & h_{2,n}(i) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ h_{m,1}(i) & h_{m,2}(i) & \cdots & h_{m,n}(i) \end{bmatrix}, \quad (k=\overline{1,m}, j=\overline{1,n},) h_{k,j} = \overline{0,255}$$

виконується паралельно. Отримане зображення розбивається на групи, що містять декілька рядків або блоків, які розподіляються по потоках. Подальша обробка зображення виконується паралельно: породжується ряд паралельних потоків, які виконуються на різних процесорах обчислювальної системи. Якщо розмірність матриці вихідного зображення $H(i)$ не кратна трьом, то для забезпечення обробки пікселів, які формують край оброблюваного зображення та повного покриття усіх груп рядків і блоків матриці $H(i)$, виконується збільшення її розмірності відповідно до $n \sim 3 \left\lceil \frac{n+1}{3} \right\rceil + 2$, $m \sim 3 \left\lceil \frac{m+1}{3} \right\rceil + 2$. Створені потоки паралельно виконують бінарізацію півтонового зображення $H(i)$ та скелетонізацію бінарного зображення $\overline{H^b(i)}$.

Виконано адаптацію розроблених моделей прискореної обробки розбитих по групах півтонових зображень на системи із загальною пам'яттю, різні різновиди NUMA (Non-Uniform Memory Access – архітектура з неоднорідним доступом до пам'яті) систем і мультипроцесорні векторно-конвеєрні комп'ютери.

Розроблено структури та базові модулі сервіс-орієнтованої комп'ютерної системи екстреного реагування на основі запропонованих моделей і методів (розпізнавання емоцій та рухів руки, голосової верифікації особистості), що дозволяє підвищити її продуктивність за якістю рішень і термінів отримання результатів з максимальною ефективністю використання ресурсів. На основі запропонованих моделей розроблено програмні модулі, які інтегруються у єдиний комплекс.

Експериментальні дослідження запропонованих методів та моделей наведені в кожному розділі дисертаційної роботи. Запропоновані методи розподіленої інтелектуальної обробки великих даних порівняно з існуючими послідовними аналогами мають меншу на порядок обчислювальну складність і відповідно менші часові витрати.

Результати **практичної реалізації** показали, що застосування запропонованих у роботі методів і моделей дозволило отримати такий ефект: зменшився час відклику проблемно-орієнтованої системи на 7%; знизився вихід бракованої продукції з 15% до 4%; аналіз візуалізації бази даних 250 компаній на ринку полімерів дозволив

виявити стабільні, інтенсивно розвиваючі компанії, компанії-новачки та довів, що КГМК візуалізують багатовимірні дані порівняно з методом головних компонент у 4,2 рази точніше; у порівнянні з картами Саммона в 2,1 разів точніше та у 22,2 рази швидше.

У **додатках** наведено таблиці допоміжних даних, акти про впровадження результатів дисертаційної роботи, приклади застосування запропонованих у роботі методів і моделей, список публікацій здобувача.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему створення спеціалізованих комп'ютерних систем розподіленої інтелектуальної обробки великих даних, які за якістю рішень і термінів отримання результатів дозволяють максимально ефективно використовувати ресурси шляхом розробки та реалізації методів і моделей обробки великих даних на основі штучних нейронних мереж та агентно-орієнтованого підходу з використанням концепції хмарних обчислень.

Відповідно до сформульованої мети в дисертаційній роботі вирішені такі завдання:

1. Проведено аналіз методологічних основ обробки великих даних для масового застосування проблемно-орієнтованих обчислень. Складність проектування засобів взаємодії людини з комп'ютерними системами спеціального призначення пов'язана з відсутністю узагальненої методології створення проблемно-орієнтованих сервісів, що направлені на вирішення різних класів завдань. Показано доцільність розробки системної методології та інструментарію для надання послуг та прийняття екстрених рішень з різним рівнем складності. Формалізовано процес розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у спеціалізованих комп'ютерних системах.

2. Розроблено методологічний підхід до побудови сервіс-орієнтованого середовища, який містить зокрема складові, що враховують різноманітність даних великого обсягу, засоби подолання проблем інтеграції існуючих і розроблених програмних модулів в єдиний комплекс, які притаманні організації нових комп'ютеризованих і комп'ютерних систем, нові запропоновані комбіновані методи і моделі побудови проблемно-орієнтованих сервісів, а також забезпечує високорівневий доступ зареєстрованих користувачів до спеціалізованих програмних комплексів та дозволяє оперативно реагувати на зміни, що відбуваються у реальному часі. Методологічний підхід застосовано під час апробації результатів досліджень.

3. Запропоновані узагальнена модель організації проблемно-орієнтованих обчислень; загальна структура мультиагентної системи для оперативного реагування в екстрених ситуаціях; модель категоризації користувачів веб-служб; модель процесу персоналізації веб-ресурсу та об'єктна модель документів проблемно-орієнтованого веб-сервісу, які в сукупності є методологічною основою проектування проблемно-орієнтованих сервісів, що дає можливість агрегувати компоненти СКС та дозволяє вирішити комплексну задачу адаптації та персоналізації сервіс-орієнтованої системи.

4. Запропоновано принцип проектування адаптивної та персоніфікованої сервіс-орієнтованої системи, в якому виявлення причинно-наслідкових закономірностей

зумовило можливість вироблення гіпотез про наявність чи відсутність певних властивостей користувача; на основі зібраної про нього інформації, за його серфінгом в Інтернеті побудований інформаційний портрет користувача, завдяки якому здійснена прискорена кластеризація користувачів, що дозволило налаштовувати контент, здійснювати консультації в режимі реального часу, надавати актуальну інформацію з різних аспектів пропонованого сервісу.

5. Запропоновано Cloud-Fog-Dew архітектуру для персоналізованих сервіс-орієнтованих систем, яка характеризується поєднанням розподілених методів і засобів збору, зберігання, обробки, аналізу великих даних, що дозволяє використовувати результати віддаленого моніторингу при прийнятті рішень для своєчасного реагування при настанні екстреної ситуації, навіть за відсутності підключення до Інтернету.

6 Показано доцільність проектування мультиагентної системи оперативного реагування, яка передбачає не лише переваги урахування взаємодії між агентами, а також забезпечує найбільш раціональні вирішення відповідно до належних запитів.

7. Запропоновано моделі MapReduce Hadoop для розподіленої нейромережевої обробки великих даних, які характеризуються адаптацією топології передачі даних до відповідної архітектури нейронної мережі на обчислювальний кластер, що дозволяє скоротити обсяги переданої інформації між вузлами, а також підвищити швидкість в ході вирішення складних завдань.

8. Удосконалено метод узгодження дій агентів, який відрізняється використанням засобів спілкування взаємодіючих сторін та стану системи у вигляді стійкості і цілісності, що дозволяє успішно функціонувати агентно-орієнтованій системі для оперативного реагування на критичні зміни обставин.

9. Удосконалено методи розподілу робіт і кооперації агентів в агентно-орієнтованій системі, які відрізняються динамічним розподілом ролей між агентами, що дозволяє для кожного зареєстрованого користувача розподілити поставлені завдання між агентами для своєчасного реагування в ході виникнення інциденту та підвищити ефективність спільних дій всіх учасників.

10. Набула подальшого розвитку методологія обробки великих даних нейронними мережами шляхом наявності динамічного перерозподілу робіт між обчислювачами, що дозволяє рівномірно планувати навантаження обчислювального кластера з топологіями передачі даних «зірка», «повнозв'язний граф» та «гратка».

11. Набули подальшого розвитку методи відображення багатовимірних даних у простір малого розміру шляхом запобігання відображення багатовимірних даних в одну точку, що дозволяє усунути їхню непомітність у просторі малої вимірності.

12. Набули подальшого розвитку методи класифікації півтонових зображень на основі нейромережевої обробки шляхом автоматичного і рівномірного розподілу нейронів по потоках, що дозволяє досягнути максимальної швидкості обчислень в проблемно-орієнтованих системах для зменшення часу відклику.

13. На основі запропонованих методів та моделей розроблено експериментальну систему для розв'язання задачі діагностики та віддаленого моніторингу. Експериментальні дослідження показують ефективність запропонованих рішень: зменшення часу відгуку системи в середньому на 15% (навіть за відсутності підключення до Інтернету), найбільший вииграш за часом виходить в тому випадку,

коли залежно від розмірності вхідних даних обрана відповідна конфігурація обчислювальної системи.

14. Практичні результати, що отримано, підтверджені актами впровадження та доводять коректність теоретичних положень дисертаційної роботи, високу ефективність розроблених моделей, методів і методології. Результати дисертаційної роботи впроваджені: в інституті дерматології та венерології АМН України, у науково-виробничій фірмі з обмеженою відповідальністю «Технологія», у практичну діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «Сана-мед», у практичну діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «Ампер», у школі мистецтв №2 м. Краматорська, у практичну діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «Маркет Репорт», у практичну діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «Ипра-софт», у Харківському національному університеті радіоелектроніки на кафедрі електронних обчислювальних машин в процесі проведення лекційних занять і лабораторних робіт з курсів «Паралельні та розподілені обчислення», «Інтелектуальні комп'ютерні системи», «Нейронні обчислювальні системи», «Інтернет-технології та «Паралельне моделювання на інноваційних НРС системах».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Аксак Н.Г. Параллельная нейрообработка больших данных в распределенной среде на основе MapReduce / Н.Г. Аксак // Інформаційні технології: сучасний стан та перспективи: Монографія / за заг. ред. В.С. Пономаренка. – Х. : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. – С. 330–345.

2. Аксак Н.Г. Мультиагентная система нейросетевой диагностики и удаленного мониторинга пациента / Н.Г. Аксак // Інформаційні технології: проблеми та перспективи: монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Х. : Вид. Рожко С.Г., 2017. – С. 325–340.

3. Аксак Н.Г. Разработка системы персонализации специализированного веб-портала / Н.Г. Аксак // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2018. – № 1. – С. 91–99. – DOI 10.15588/1607-3274-2018-1-11 (Входить до міжнародних наукометричних баз Thomson Reuters Web of Science (WoS), BASE, WorldCat).

4. Аксак Н.Г. Концепція побудови мультиагентних систем розподіленої нейромережевої обробки великих даних / Н.Г. Аксак // Вісник ХНТУ. – 2018. – № 3(66), Том 1. – С. 205–212.

5. Аксак Н.Г. Организационный вид медицинской диагностической мультиагентной системы / Н.Г. Аксак // Системы и средства искусственного интеллекта. – 2014. – №1. – С. 8–10. (Входить до міжнародної наукометричної бази РІНЦ).

6. Аксак Н.Г. Расширенный browserank на основе учета поведенческих факторов пользователей / Н.Г. Аксак, С.А. Коргут, Н.Г. Стрельцова // Бионика интеллекта. – 2013. – № 1(80). – С. 99–103.

7. Шкловец А.В. Определение расстояний между точками на кусочно-гладких картах Кохонена /А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак // Бионика интеллекта. – 2012. № 1(78). –

С. 63–67. (Журнал індексується міжнародною базою Google Scholar).

8. Шкловец А.В. Построение четырехугольных карт Кохонена на основе триангуляции Делоне для визуализации многомерных данных / А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак // Бионика интеллекта. – 2011. – № 3(77). – С. 94–97. (Журнал індексується міжнародною базою Google Scholar).

9. Аксак Н.Г. Система параллельно-распределенного экспертного оценивания / Н.Г. Аксак, А.Ю. Лебёдкина, М.В. Кушнарёв // Вісник ХНТУ. – 2011. – № 2(41). – С. 403–407. (Входить до міжнародної наукометричної бази РІНЦ, Google Scholar).

10. Аксак Н.Г. Методы и модели производительности обучения многослойных нейронных сетей в распределенных компьютерных средах / Н.Г. Аксак, А.Ю. Лебёдкина // Искусственный интеллект. – 2011. – № 4. – С. 481–488. (Входить до міжнародної наукометричної бази BASE).

11. Аксак Н.Г. Система первичной диагностики меланомы кожи / Н.Г. Аксак, И.В. Новосельцев // Бионика интеллекта. – 2010. – № 3(74). – С. 94–98. (Журнал індексується міжнародною базою Google Scholar).

12. Барковская О.Ю. Сравнительный анализ итеративных методов скелетонизации / О.Ю. Барковская, Н.Г. Аксак, А.В. Шкловец // Науковий вісник Чернівецького національного ун-ту ім. Юрія Федьковича. – 2010. – Том 1, вип. 2. – С. 40–46. – (Серія: Комп'ютерні системи та компоненти).

13. Аксак Н.Г. Процедура обучения многослойной нейронной сети. Топология передачи данных «звезда» / Н.Г. Аксак, А.Ю. Лебёдкина, О.В. Хоменко // Науковий вісник Чернівецького національного ун-ту ім. Юрія Федьковича. – 2010. – Том 1, вип. 2. – С. 95–102. – (Серія: Комп'ютерні системи та компоненти).

14. Аксак Н.Г. Задача коммивояжера на основе растущей сети Кохонена. Многоядерное решение / Н.Г. Аксак, А.В. Шкловец // Вестник ХНТУ. – 2009. – № 1(34). – С. 342–346.

15. Аксак Н.Г. Распознавание изображений антропоморфного объекта / Н.Г. Аксак, А.Ю. Тыхун, О.Ю. Барковская, А.С. Солдатов // Бионика интеллекта. – 2009. – №1(70). – С. 102–105.

16. Новосельцев И.В. Применение многопроцессорных систем для реализации многослойного персептрона / И.В. Новосельцев, Н.Г. Аксак // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. – 2008. – № 1(19). – С. 108–110. (Входить до міжнародних наукометричних баз РІНЦ, Google Scholar).

17. Аксак Н.Г. Дослідження збільшення потужності у програмуванні на мультіядерній кластерній системі / Н.Г. Аксак, В.Д. Волонцевич, І.А. Осотов, Я.М. Філін // Комп'ютерні системи та мережі. Вісник національного ун-ту «Львівська політехніка». – 2007. – № 603. – С. 8–11. (Входить до міжнародної наукометричної бази BASE).

18. Барковская О.Ю. Использование шкал оттенков базовых цветов для решения задачи бинаризации / О.Ю. Барковская, Н.Г. Аксак // Системні технології. – 2006. – № 6 (47). – С. 48–57.

19. Новосельцев И.В. Вероятностные нейронные сети для решения задач медицинской диагностики / И.В. Новосельцев, Н.Г. Аксак, О.Ю. Барковская // Бионика интеллекта. – 2006. – № 2(65). – С. 62–65.

20. Барковская О.Ю. Параллельная модификация алгоритма скелетонизации

бинарного изображения. / О.Ю. Барковская, *Н.Г. Аксак* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – Выпуск 4/2 (22). – С. 65–68.

21. Барковская О.Ю. Сравнительный анализ алгоритмов бинаризации полутонового изображения / О.Ю. Барковская, *Н.Г. Аксак*, И.В. Новосельцев // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2005. – Вып. 133. – С. 40–46.

22. Аксак Н.Г. Дистанционный мониторинг пациента на основе концепции агент-группа-роль / Н.Г. Аксак, Н.М. Кораблев // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2018. – № 3. – С. 7–18. (Журнал індексується міжнародною базою Google Scholar).

23. Аксак Н.Г. Система предоставления медицинских услуг на основе архитектуры cloud-fog-dew / Н.Г. Аксак, И.В. Новосельцев, Д.Н. Росинский // Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. – Маріуполь, ДВНЗ «ПДТУ», 2018. – Вып. 19. – С. 150–159.

24. Аксак Н.Г. Согласование многоагентных обязательств в системе удаленного мониторинга состояния здоровья человека / Н.Г. Аксак, Н.М. Кораблев // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: сб. науч. трудов. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2018. – С.139–141.

25. Ахак N.G. Development of the hand gesture recognition system on the basis of clonal selection model / N.G. Ахак, О.У. Barkovskaya, Н.С. Ivashchenko // Системи обробки інформації. – 2017. – Вып. 3(149). – Р. 76–80. (Входит до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, BASE).

26. Аксак Н.Г. Мультиагентная модель адаптации медицинского Интернет-ресурса на основе информационного портрета пользователя / Н.Г. Аксак, С.А. Коргут, И.В. Новосельцев // Системи обробки інформації. – 2013. – Вып. 2(109). – С. 242–246. (Входит до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, BASE).

27. Шкловец А.В. Проецирование большого количества многомерных данных на двумерную кусочно-гладкую самоорганизующуюся карту Кохонена / А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак // Системи обробки інформації. – 2012. – Вып. 3 (101). – С. 81–84. (Входит до міжнародних наукометричних баз BASE, WorldCat).

28. Шкловец А.В. Метод отображения многомерных данных на одномерную кусочно-гладкую самоорганизующуюся карту Кохонена / А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2012. – Вып. 1(21). – С. 127–132.

29. Аксак Н.Г. Метод равномерного распределения параллельных операций ускоренного обучения многослойной нейронной сети с различными топологиями передач данных / Н.Г. Аксак, А.Ю. Лебёдкина // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2011. – Вып. 2(18). – С. 66–73.

30. Новосельцев И.В. Показатели эффективности нейросетевой системы медицинской диагностики / И.В. Новосельцев, Н.Г. Аксак // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2010. – Вып. 4(16). – С. 142–149.

31. Аксак Н.Г. Распределение объемов работ между агентами в мультиагентной системе извлечения знаний / Н.Г. Аксак, С.А. Коргут // Системні технології. – 2010. – Вып. 3(68). – С. 60–67.

32. Аксак Н.Г. Модель категоризации Интернет-пользователей на основе ДСМ-метода / Н.Г. Аксак, С.А. Коргут // Системи обробки інформації. – 2010. –

Вип. 2(83). – С. 6–9. – (Входить до міжнародної наукометричної бази BASE, WorldCat).

33. Аксак Н.Г. Метод аппроксимации линейной карты Кохонена кубическим параметрическим сплайном / Н.Г. Аксак, А.В. Шкловец // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць.– Київ, 2010. – Вип. 2(14). – С. 70–74.

34. Аксак Н.Г. Модели ускоренной обработки двумерных полутоновых изображений / Аксак Н.Г., Барковская О.Ю., Шкловец А.В. // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Київ, 2009. – Вип. 4(12). – С.80–84.

35. Аксак Н.Г. Модели производительности нейроалгоритма, адаптированного на высокопроизводительные системы / Н.Г. Аксак, А.Ю. Тыхун // Питання прикладної математики і математичного моделювання. Збірник наукових праць. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2009. – С. 29–37.

36. Аксак Н.Г. Анализ моделей производительности реализации нейроалгоритма / Н.Г. Аксак, А.Ю. Тыхун // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – 2008. – Вип. 1(68). – С. 2–5. – (Входить до міжнародних наукометричних баз BASE, WorldCat).

37. Аксак Н.Г. Адаптация нейросетевых моделей на высокопроизводительные системы с общей памятью / Н.Г. Аксак, И.В. Новосельцев, АС. Солдатов // Системні технології. Збірник наукових праць. – 2008. – Вип. 3(56), Том 2. – С. 117–122.

38. Новосельцев И.В. Гибридные нейронные сети для распознавания образов / И.В. Новосельцев, Н.Г. Аксак, О.Ю. Барковская // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – 2007. – Вип. 3(61). – С. 60–64. (Входить до міжнародної наукометричних баз BASE, WorldCat).

39. Барковская О.Ю. Обобщенная модель распознавания антропоморфных объектов / О.Ю. Барковская, И.В. Новосельцев, Н.Г. Аксак // Системні технології. Збірник наукових праць. – 2007. – Вип. 6(53). – С. 11–16.

40. Аксак Н.Г. Использование нейронных сетей для определения причинно-следственных связей при анализе физиологических параметров крови / Н.Г.Аксак, В.П. Зимин, К.А. Лавриненко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – 2002. – №9, Том 7. – С. 3–8.

41. Axak N. Development of multi-agent system of neural network diagnostics and remote monitoring of patient / N. Axak // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 4/9 (82) – P. 4–11. – (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, WorldCat, PИИЦ).

42. Axak N. Decision support system for intelligent site / Axak N, Korgut S., Komoda P // Elektronika (LIV). – 2013. – no 8/2013. – P. 52–59. (Журнал індексується міжнародною базою Google Scholar).

43. Shklovets A.V. Visualization of High Dimensional Data Using Two Dimensional Self Organizing Piecewise Smooth Kohonen Maps / A.V. Shklovets, N.G. Axak // ISSN 1060 992X, Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2012. – Vol. 21, No. 4. – P. 227–232. © Allerton Press, Inc., 2012. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, ORCID, WorldCat, PИИЦ).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

44. Axak N. Cloud-fog-dew Architecture for Personalized Service-oriented Systems / N. Axak, D. Rosinskiy, O. Barkovska, I. Novoseltsev // The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018, Kyiv, Ukraine – 2018. – P. 80–84. (Входить до міжнародних наукометричних баз **Scopus**, **PIHC**).

45. Barkovska O. Application of mydriasis identification methods in parental control systems / O. Barkovska, N. Axak, D. Rosinskiy, S. Liashenko // The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018, Kyiv, Ukraine, 2018. – P. 484–488. – (Входить до міжнародної наукометричної бази **Scopus**).

46. Korablyov M. Hybrid evolutionary decision-making model based on neural network and immune approaches / M. Korablyov, N. Axak, D. Soloviov // 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2018, V.1. – P. 378–381. – (Входить до міжнародної наукометричної бази **Scopus**).

47. Новосельцев І.В. Система віддаленого нейромережного діагностування меланоми / І.В. Новосельцев, Н.Г. Аксак // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» (ISM-2018). Збірник наукових праць. ХНУРЕ.– Харків: «Друкарня Мадрид», 2018.- 116–118.

48. Аксак Н.Г. Основи побудови мультиагентних систем розподіленої нейромережевої обробки великих даних / Н.Г. Аксак // XIX Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2018), 2018 р.: тези доп. – Херсон, 2018. – С. 38.

49. Аксак Н.Г. Архитектура сервис-ориентированной системы распределенной обработки больших данных / Н.Г. Аксак, Д.Н. Росинский // Information-Management Systems and Technologies: VII Intern. Scientific Conf., 2018: materials of the conf. – Odessa, Ukraine, 2018. – С. 195–196.

50. Аксак Н.Г. Система интеллектуального анализа медицинских данных / Н.Г. Аксак, И.В. Новосельцев, Д.Н. Росинский, В.О. Лебедев // Комп'ютерні та інформаційні системи і технології: Друга міжнар. наук.-техн. конф., 2018 р.: матер. конф. – Харків, 2018. – С. 128–129.

51. Аксак Н.Г. Модель распределенных вычислений для нейросетевой диагностики и мониторинга больного / Н. Г. Аксак, Д.Н. Росинский, Е.В. Соколец // Проблемы і перспективи розвитку ІТ-індустрії: Міжнар. наук.-практ. конф., 2018 р.: тези доп. – Харків, 2018. – С. 40.

52. Аксак Н.Г. Многоагентные системы ускоренной нейросетевой обработки больших данных / Н.Г. Аксак // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: сб. науч. трудов. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2017. – С. 237–239.

53. Аксак Н.Г. Мультиагентная система удаленной нейросетевой диагностики и мониторинга больного / Н.Г. Аксак // Проблемы і перспективи розвитку ІТ-індустрії: Міжнар. наук.-практ. конф., 2017 р.: матер. конф. – Харків, 2017. – С. 66.

54. Аксак Н.Г. Модель кооперации агентов сервис-ориентированной веб-системы / Н.Г. Аксак, Е.В. Соколец // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): IV Міжнар. наук.-практ. конф., 2017 р.: матер. конф. – К.,

2017. – С. 97–98.

55. Аксак Н.Г. Мультиагентная архитектура управления знаниями / Н.Г. Аксак, Д.Н. Росинский, Е.В. Соколец // Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-ОДЕСА-2017): VI Міжнар. наук.-практ. конф., 2017 р.: матер. конф. – Одеса, 2017. – С. 268–270.

56. Аксак Н.Г. Компьютерная система обнаружения лиц и распознавания эмоций // Н.Г. Аксак, К.О. Олейник / Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: сб. науч. трудов. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2016. – С. 248–249. (Журнал індексується міжнародною базою Google Scholar).

57. Axak N.G. Visualization of Internet users on basis of selforganizing Kohonen maps / N.G. Axak, Ye.V. Sokolets // Information-Management Systems and Technologies: V Intern. Scientific Conf., 2016 p.: materials of the conf. – Odessa, Ukraine, 2016. – P. 226–229.

58. Аксак Н.Г. Ускоренный алгоритм кластеризации для анализа больших данных / Н.Г. Аксак, Е.В. Соколец // Інформаційні системи та технології: 5-а Міжнар. наук.-техн. конф., 2016 р.: тези доп. – Харьков, 2016. – С. 317–318.

59. Аксак Н.Г. Проектирование мультиагентной системы удаленного мониторинга на основе организаций / Н.Г. Аксак, Е.В. Соколец // Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки (ПІКТ–2016): Міжнар. наук.-практ. конф., 2016 р.: тези доп. – Чернівці, 2016. – С. 181.

60. Аксак Н.Г. Взаимодействие агентов в системе удаленного контроля за пациентом / Н.Г. Аксак // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): III Міжнар. наук.-практ. конф., 2015 р.: матер. конф. – Черкаси, 2015. – С. 166–167.

61. Аксак Н.Г. Модель мультиагентной системы на основе классификационной нейросетевой модели / Н.Г. Аксак // Інформаційні та моделюючі технології (сучасний стан та шляхи розвитку інформаційних технологій та технологій моделювання програмних та інформаційних систем) ІМТ-2015: Всеукраїнська наук.-практ. конф., 2015 р.: матер. конф. – Черкаси, 2015. – С. 63.

62. Аксак Н.Г. Система дистанционного наблюдения за пациентом / Н.Г. Аксак, Р.Г. Мищенко // Информатика, математическое моделирование, экономика: Пятая Междунар. науч.-практ. конф., 2015 г.: сб. науч. статей в 2-х томах. – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2015. – Том 1. – С. 247–251. (Журнал індексується міжнародною базою Google Scholar).

63. Axak N.G. Multi agent knowledge management architecture / N.G. Axak // Information-Management Systems and Technologies: IV Intern. Scientific Conf., 2015 y.: materials of the conf. – Odessa, Ukraine, 2015. – P. 237–239.

64. Аксак Н.Г. Организационная модель мультиагентной системы для медицинской диагностики / Н.Г. Аксак // Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conf. Proceedings, 2014 y.: Abstract. – Kherson, Ukraine, 2014. – С. 242–244.

65. Аксак Н.Г. Агентно-ориентированный медицинский Интернет-ресурс / Н.Г. Аксак, С.А. Коргут, И.В. Новосельцев // Вычислительный интелект (результаты, проблемы, перспективы): 2-я Междунар. науч.-техн. конф., 2013 г.: мтер.

конф. – Черкассы: Маклаут, 2013. – С. 321.

66. Аксак Н.Г. Система голосовой верификации личности с применением параллельно обученной нейронной сети / Н.Г. Аксак, К.Р. Биндас // Информатика, математическое моделирование, экономика: Третья междунар. науч.-практ. конф., 2013 г.: сб. науч. статей – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ "Российский университет кооперации", 2013. – Том 1. – С. 37–45. (Входит до міжнародної наукометричної бази РІНЦ).

67. Аксак Н.Г. Метод отображения многомерных данных на двумерную кусочно-гладкую самоорганизующуюся карту Кохонена/ Н.Г. Аксак, А.В. Шкловец // Информатика, математическое моделирование, экономика: Междунар. науч.-практ. конф., 2011 г.: сб. науч. статей. – Смоленск, 2012. –С. 109–114. (Входит до міжнародної наукометричної бази РІНЦ).

68. Шкловец А.В. Метод аппроксимации сплайн поверхностями кусочно-плоских карт Кохонена для визуализации многомерных данных / А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак // Нейроинформатика-2012: XIV Всероссийская науч.-техн. конф., 2012 г.: сб. науч. трудов в 3-х частях. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – Ч.1. – С. 63–73.

69. Шкловец А.В. Метод аппроксимации сплайнами минимальной длины линейных карт Кохонена для визуализации многомерных данных / А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак // Нейроинформатика-2011: XIII Всероссийская науч.-техн. конф., 2011 г.: сб. науч. трудов в 3-х частях. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – Ч.1. – С. 69–78.

70. Шкловец А.В. Анализ методов визуализации многомерных данных / А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак // Нейрокомпьютеры и их применение: IX Всероссийская науч. конф., 2011 г.: тез. докл. – М., 2011. – С. 25.

71. Аксак Н.Г. Методы ускоренной реализации многослойной нейронной сети / Н.Г. Аксак, А.Ю. Лебёдкина // Информатика, математическое моделирование, экономика: Междунар. науч.-практ. конф., 2011 г.: сб. науч. статей. – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации», 2011. – Том 1. – С. 71–78.

72. Коргут С.А. Моделирование адаптивного Интернет-ресурса средствами UML / С.А. Коргут, Н.Г. Аксак, // Автоматика – 2010: 17-а Міжнар. конф. з автоматичного управління, 2010 р.: тези доп. – Харків, 2010. – Том 2. – С. 113–114.

73. Аксак Н.Г. Метод аппроксимации сплайн поверхностью двух переменных на нерегулярной решетке / Н.Г. Аксак, А.В. Шкловец // Автоматика – 2010: 17-а Міжнар. конф. з автоматичного управління, 2010 р.: тези доп. – Харків, 2010. – Том 1. – С. 26–27.

74. Шкловец А.В. Решение задачи коммивояжера на многоядерных архитектурах с помощью растущей сети Кохонена / А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: материалы конф. [Под ред. проф. В.П. Гергеля]. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2009. – С. 505–511.

75. Аксак Н.Г. Параллельный алгоритм формирования самоорганизующихся карт Кохонена / Н.Г. Аксак, А.В. Шкловец // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах (НРС-2009): 9-я Междунар. конф.-семинар, 2009 г.: труды конф. – Владимир, Россия, 2009. – С. 27–30.

76. Аксак Н.Г. Обработка данных в интеллектуальной информационно-

поисковой системе / Н.Г. Аксак, С.А. Коргут // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2009): Сьома міжнар. наук.-техн. конф., 2009 р.: тези доп. – Дніпропетровськ, 2009. – С. 11.

77. Аксак Н.Г. Учет индивидуальных предпочтений пользователя с использованием агента / Н.Г. Аксак, С.А. Коргут // VIII Международная конференция «Интеллектуальный анализ информации ИАИ – 2008»: сб. тр. – Киев, – «Просвіта», 2008. – С.62–66.

78. Аксак Н.Г. Сравнительный анализ программной реализации параллельных алгоритмов / Н.Г. Аксак, А.Ю. Тыхун, А.С. Солдатов // Моделирование-2008.: сб. тр. – Киев, 2008. – Том 2. – С.377–382.

79. Аксак Н.Г. Анализ способов ускорения нейроалгоритма на основе технологий параллельного программирования / Н.Г. Аксак, А.Ю. Тыхун, И.В. Новосельцев // Системний аналіз та інформаційні технології: X Міжнар. наук.-техн. конф., 2008 р.: матер. конф. – К., 2008. – С. 284.

80. Аксак Н.Г. Обработка изображений динамических антропоморфных объектов / Н.Г. Аксак, О.Ю. Барковская // Автоматика 2008: 15-я Междунар. конф. по автоматическому управлению, 2008 г.: докл. конф. – Одесса, 2008. – С. 27–29.

81. Аксак Н.Г. Модели производительности синтеза нейроалгоритма на высокопроизводительных архитектурах / Н.Г. Аксак, А.Ю. Тыхун, И.В. Новосельцев // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах (НПС-2008): 8-я Междунар. конф., 2008 г.: труды конф. – Казань, Россия, 2008. – С. 199–202.

82. Коргут С.А. Адаптация Интернет-ресурса на основе использования доступных данных о пользователе / С.А. Коргут, Н.Г. Аксак // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: VI Міжнар. наук.-практ. конф., 2008 р.: матер. конф. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 181.

83. Barkovskaya O. Contrastive Analysis of the Parallel Version of the Binary Image Skeletonization Algorithms on Basis of Binary Matrix and Structural Elements / O. Barkovskaya, N. Axak, // The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics, CADSM'2007: Proceedings of the 9th International Conference, 19–24 Feb., 2007, Lviv, Ukraine 2007. – P.435-436 – (Входить до міжнародних наукометричних баз **Scopus**, **ORCID**, **WorldCat**).

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:

84. Аксак Н.Г. Вычислительная модель нейроалгоритма многослойного персептрона / Н.Г. Аксак, А.Ю. Тыхун // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах: Седьмая Междунар. конф.-семинар, 26–30 нояб. 2007 г.: матер. конф. – Нижний Новгород, 2007. – С. 11–18. (Журнал індексується міжнародною базою Google Scholar).

85. Axak N.G. Exploring of performance's increasing in programming on multicore cluster system / N.G. Axak, Ya.M. Filin, I.A. Osotov, V.D. Volontsevich // Advanced Computer Systems and Networks: Desing and Application (ACSN-2007): Proceedings of the 3-rd Intern. Conf., 2007: Abstract. – Lviv, Ukraine, 2007. – С. 54–55.

86. Аксак Н.Г. Распознавание образов на основе нейронных сетей с использованием технологии MPI / Н.Г. Аксак, Р.С. Верчиков, О.Р. Лола, И.В. Новосельцев, С.А. Олищук // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах: Шестой Междунар. науч.-практ. семинар,

2007 г.: матер. сем. – С.-Пб, 2007. – Том 1. – С. 21–25.

87. Логвиненко О.О. Программный комплекс распределенных вычислений на основе .NET REMOTING / О.О. Логвиненко, Н.Г. Аксак // Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах: Шестой Междунар. науч.-практ. семинар, 2007 г.: матер. сем. С.-Пб., 2007. – Том 2. – С. 21–25.

АНОТАЦІЯ

Аксак Н.Г. Методи та моделі розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у спеціалізованих комп'ютерних системах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2019.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему створення СКС розподіленої інтелектуальної обробки великих даних, які за якістю рішень і термінів отримання результатів дозволяють максимально ефективно використовувати ресурси шляхом розробки та реалізації методів і моделей обробки великих даних на основі штучних нейронних мереж та агентно-орієнтованого підходу з використанням концепції хмарних обчислень.

Проведено аналіз методологічних основ обробки великих даних для масового застосування проблемно-орієнтованих сервісів. Запропоновано метод збору інформації про користувачів веб-сервісів; метод адаптації предметно-орієнтованих веб-сервісів; методи прискореної обробки великих даних на основі високопродуктивних обчислень за допомогою нейронних мереж; спосіб своєчасного надання спеціалізованих послуг за допомогою мультиагентних систем, які в сукупності є методологічною основою побудови СКС розподіленої інтелектуальної обробки великих даних. Запропоновано принцип проектування проблемно-орієнтованих веб-сервісів. Запропоновано принцип побудови адаптивної веб-служби та метод персоналізації Інтернет-сервісу. Запропоновано моделі MapReduce Hadoop для розподіленої нейромережевої обробки великих даних. Запропоновано та обґрунтовано Cloud-Fog-Dew архітектуру для персоналізованих сервіс-орієнтованих систем. Показано доцільність проектування мультиагентної системи оперативного реагування. Удосконалено методологію обробки великих даних нейронними мережами; методи відображення багатовимірних даних у простір малого розміру та методологію розподіленої інтелектуальної обробки зображень досліджуваного об'єкта. Набули подальшого розвитку метод узгодження дій агентів і методи розподілу робіт та координації групових дій агентів в агентно-орієнтованій системі. Розроблено структури та базові модулі сервіс-орієнтованої комп'ютерної системи екстреного реагування на основі запропонованих моделей і методів. Набуто практичні результати підтверджені актами впровадження і доводять коректність теоретичних положень дисертаційної роботи, високу ефективність розроблених моделей, методів.

Ключові слова: спеціалізовані комп'ютерні системи, розподілена нейромережева обробка великих даних, агентно-організовані системи, топологічна організація розподілених систем, хмарні обчислення.

АННОТАЦИЯ

Аксак Н.Г. Методы и модели распределенной интеллектуальной обработки больших данных в специализированных компьютерных системах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 - компьютерные системы и компоненты. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2019.

В диссертационной работе решена актуальная научно-прикладная проблема создания специализированных компьютерных систем распределенной интеллектуальной обработки больших данных, которые по качеству решений и срокам получения результатов позволяют максимально эффективно использовать ресурсы путем разработки и реализации методов и моделей обработки больших данных на основе искусственных нейронных сетей и агентно-ориентированного подхода с использованием концепции облачных вычислений.

Разработана методологическая основа построения специализированных компьютерных систем распределенной интеллектуальной обработки (СКСРИО) больших данных, включающая следующие функциональные составляющие: метод сбора информации о пользователях веб-сервисов; метод адаптации предметно-ориентированных веб-сервисов; методы ускоренной обработки больших данных на основе высокопроизводительных вычислений с помощью нейронных сетей; способ своевременного предоставления специализированных услуг с помощью мультиагентных систем, что обеспечивает высокоуровневый доступ предметных пользователей к проблемно-ориентированным программным комплексам и позволяет согласовывать их взаимодействие для адекватного и оперативного реагирования на изменения, происходящие в реальном времени.

Разработан принцип проектирования проблемно-ориентированных веб-сервисов, который характеризуется настройкой следующей совокупности моделей взаимосвязанных компонентов СКСРИО: обобщенной модели организации проблемно-ориентированных вычислений; общей структуры мультиагентной системы для оперативного реагирования в экстренных ситуациях с использованием организационной концепции агент-группа-роль; модели категоризации пользователей веб-служб на основе метода автоматического порождения гипотез; модели процесса персонализации веб-ресурса, в которой сочетаются агентские и нейросетевые технологии; объектной модели документов проблемно-ориентированного веб-сервиса в виде графа, что в целом позволяет решать комплексную задачу адаптации и персонализации веб-портала совместно с предоставлением специализированных услуг.

Разработан принцип построения адаптивной веб-службы и метод персонализации Интернет-сервиса, которые характеризуются совокупностью взаимосвязанных действий: автоматическое порождение гипотез, дающее возможность определить наличие или отсутствие целевых свойств пользователя; анализ поведения пользователя по его серфингу в Интернете, позволяющее выдавать более релевантные результаты; построение информационного портрета для сбора

статистически значимой совокупности информационных характеристик с целью планирования дальнейших действий; параллельная кластеризация пользователей с использованием карт Кохонена для ускорения обработки больших данных, что в целом позволяет настраивать контент и предоставлять актуальную информацию по различным аспектам предлагаемого сервиса.

Разработаны модели MapReduce Hadoop для распределенной нейросетевой обработки больших данных, которые за счет адаптации топологии передачи данных, соответствующей архитектуре нейронной сети, на вычислительный кластер позволяют сократить объемы передаваемой информации между узлами, а также повысить быстродействие при решении сложных задач.

Предложена и обоснована Cloud-Fog-Dew архитектура для персонализированных сервис-ориентированных систем, которая за счет сочетания распределенных методов и средств сбора, хранения, обработки, анализа больших данных, позволяет использовать результаты удаленного мониторинга при принятии решений для своевременного реагирования в случае возникновения экстренной ситуации, даже при сбоях удаленного вызова или подключения к Интернету.

Усовершенствована методология обработки больших данных нейронными сетями, которая за счет динамического перераспределения работ между вычислителем, позволяет равномерно планировать нагрузку вычислительного кластера с топологией передачи данных «звезда» и «полносвязный граф».

Усовершенствованы методы отображения многомерных данных в пространство малого размера, которые предотвращают отображение многомерных данных в одну точку, что позволяет устранить их неразличимость в пространстве малой размерности.

Усовершенствована методология распределенной интеллектуальной обработки изображений исследуемого объекта, которая за счет возможности online анализа его поведения, обеспечивает повышение качества предоставления сервисов и уменьшение времени отклика.

Получил дальнейшее развитие метод согласования действий агентов путем использования средств общения взаимодействующих сторон и состояния системы в виде устойчивости и целостности, что позволяет успешно функционировать агентно-ориентированной системе для оперативного реагирования на критические изменения обстоятельств.

Получили дальнейшее развитие методы распределения работ и координации групповых действий агентов в агентно-ориентированной системе путем динамического распределения ролей между агентами, что позволяет для каждого зарегистрированного пользователя распределить поставленные задачи между агентами для своевременного реагирования при возникновении инцидента и повысить эффективность совместных действий всех участников.

Разработаны структуры и базовые модули сервис-ориентированной компьютерной системы экстренного реагирования на основе предложенных моделей и методов, что позволяет повысить ее производительность по качеству решений и сроков получения результатов с максимальной эффективностью использования ресурсов. Полученные практические результаты подтверждены актами внедрения и доводят корректность теоретических положений диссертационной работы, высокую

эффективность разработанных моделей, методов.

Ключевые слова: специализированные компьютерные системы распределенная нейросетевая обработка больших данных, агентно-организованные системы, топологическая организация распределенных систем, облачные вычисления.

ABSTRACT

Axak N.G. Methods and models of distributed intelligent processing of big data in specialized computer systems. – Manuscript.

Dissertation for the Doctor of Technical Sciences degree in the specialty 05.13.05 – Computer systems and components. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

In the dissertation, the actual scientific and applied problem of developing, researching and improving methods and models that are the basis of distributed technologies for processing big data in specialized computer systems based on artificial neural networks using an agent-based approach and increasing their efficiency in terms of the quality of solutions and the timing of obtaining results with the maximum efficiency of the use of resources was solved. The analysis of methodological bases of a big data processing for problem-oriented services' mass application was carried out. The methodological approach to building a service-oriented environment was developed. Proposed generalized organization model of problem-oriented calculations; general structure of the multi-agent system for emergency response; model of user service categorization; the model of the web resource's personalization process and the object model of the documents of the problem-oriented web-service, which together constitute the methodological basis for the design of problem-oriented services. The principle of designing an adaptive and personalized service-oriented system was proposed. The Cloud-fog-dew architecture for personalized service-oriented systems was proposed. The expediency of designing a multi-agent system of operational response was shown. The MapReduce Hadoop model for distributed neural processing of big data was proposed. Methods for distributing work, co-opting and coordinating agent actions in an agent-oriented system were improved. The methodological basis for the processing of large data by neural networks was further developed. The methods of displaying multidimensional data into a small space were further developed. The methodology of distributed intelligent halftone image processing were further developed. An experimental system for solving the problem of diagnostics and remote monitoring was developed. The obtained practical results were confirmed by the acts of implementation and prove the correctness of the theoretical positions of the dissertation, the high efficiency of the developed models, methods.

Keywords: specialized computer systems, distributed neural network big data processing, agent-organized systems, distributed systems topology, cloud computing.

Підп. до друку 05.19.
Умов.друк.арк. 2,3.
Ціна договірна

Формат 60x84 ^{1/16}.
Облік. вид.арк. 2,1.
Зам № 2-2.

Спосіб друку – ризографія.
Тираж 100 прим.

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Науки, 14

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Науки, 14