

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Аксак, Наталії Георгіївни «Методи та моделі розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у спеціалізованих комп'ютерних системах», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

В сучасних умовах активно досліджується проблема розподіленої інтелектуальної обробки великих даних з використанням хмарних обчислень, штучних нейронних мереж (ШНМ), агентно-орієнтованого підходу тощо, оскільки зі швидким зростанням нових мережевих додатків і послуг, таких, як, Інтернет речей, Інтернет транспортних засобів, всеохоплюючий Інтернет, розумна планета, розумне місто, розумна мережа тощо з'явилась можливість організації нової взаємодії людей і різних систем, а також оперативної реакції на виникаючі перетворення. Для вирішення таких задач сучасних якостей існуючих універсальних комп'ютерних систем (УКС) не вистачає, що заохочує до пошуку і впровадження нових рішень для створення нових проблемно-орієнтованих сервісів, а саме, створення інтелектуальних спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС) з хмарною архітектурою. Це дозволяє вирішити комплексну задачу адаптації та персоналізації сервіс-орієнтованих систем до предметних користувачів.

Для обробки великих обсягів інформації все більше застосовуються сучасні інформаційні технології та системи підтримки прийняття рішень на основі статистичних методів, оптимізаційних процедур, методів інтелектуального аналізу даних тощо. Застосування ШНМ має переваги перед традиційними математичними методами. Однак, зі збільшенням розмірності вхідних даних структура ШНМ стає більш складною, що у свою чергу веде до більш тривалого часу навчання, до вповільнення швидкості збіжності. Водночас, ШНМ є високопродуктивним обчислювачем, тому необхідна розробка моделей для розподіленої нейромережевої обробки великих даних.

Для прийняття рішень існує велика різноманітність методів з різним рівнем складності. Разом з тим забезпечити погоджені рішення дозволяє використання мультиагентних систем (МАС), що дає можливість моделювати й досліджувати взаємодії між суб'єктами та оперативного реагувати на критичні зміни обставин. Сьогодні існує нагальна потреба дослідити способи взаємодії між агентами МАС для прийняття рішень в системах оперативного реагування.

ХМУРЕ  
Вхідний № 01/21-7  
" 27 " 06 2019 р.

Проблеми обробки великих даних пов'язані 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 та ін. Кількісна інформація, що отримана за результатами аналізу зображень великих розмірів, може використовуватися для прийняття рішень, наприклад, в діагностичних системах різного призначення.

Тематика дисертаційної роботи пов'язана із розробкою методів і моделей розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у спеціалізованих комп'ютерних системах з використанням ШНМ, агентно-орієнтованого підходу та хмарних обчислень. Актуальність обраної автором теми обумовлюється недостатньою теоретичною і практичною розробленістю цих питань і відсутністю сучасних засобів розробки розподілених інтелектуальних СКС. Тому створення нової методологічної основи розробки комплексу методів і моделей розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у рамках єдиної технології створення проблемно-орієнтованих систем є, безумовно, актуальною проблемою.

### **Зміст дисертаційної роботи**

У розділі 1 здійснено системний аналіз існуючих технологій, моделей, методів синтезу, інтелектуалізації, підвищення ефективності та застосування СКС, який показав, що існує множина проблем, що пов'язані з неможливістю обробки великих обсягів даних традиційними методами, з організацією розподілених та паралельних обчислень у сервіс-орієнтованих середовищах. Проаналізовано існуючі методології проектування проблемно-орієнтованих сервісів та надано формалізацію процесу розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у СКС. Аналіз проблеми розподіленої інтелектуальної обробки великих даних у СКС показав відсутність єдиного підходу до проектування та створення засобів взаємодії людини з комп'ютерними системами спеціального призначення, ефективно функціонуючих у розподілених обчислювальних середовищах. Виходячи з проведеного аналізу, сформульовано проблему, поставлені мета та задачі наукового дослідження.

У розділі 2 запропоновано методологічну основу побудови спеціалізованих комп'ютерних систем розподіленої інтелектуальної обробки великих даних для вирішення трудомістких та погано формалізованих задач з екстремим реагуванням на критичну зміну стану досліджуваного об'єкта у розподіленому середовищі, яка будується на використанні технологій мобільного зв'язку, збору, передачі та представлення інформації, веб-технології, технології Big Data,

технології паралельних та розподілених обчислень, нейромережевої технології, агентно-орієнтованої технології та хмарних обчислень. 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 (MAC OP) на критичне змінення стану досліджуваного об'єкту.

Розділ 3 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. Запропоновано загальну структуру MAC OP для оперативного реагування в екстрених ситуаціях з використанням організаційної концепції «агент-група-роль». Запропоновано метод кооперації агентів сервіс-орієнтованої веб-системи та метод узгодження дій агентів. Вирішена складна задача проектування мультиагентної системи оперативного реагування.

У розділі 4 запропоновані методи рівномірного розподілу нейромережевої обробки даних в обчислювальному середовищі з топологіями «зірка», «повнозв'язний граф» та «гратка». Запропоновано модель MapReduce для розподіленої нейромережевої обробки великих даних MRMLP. Застосування процедури паралельного навчання на основі MapReduce дозволило скоротити час обчислень в ході збільшення обсягів навчальної й тестової вибірок. Рівномірний поділ часток паралельного коду між обчислювачами значно підвищив ефективність процедури навчання.

У розділі 5 вирішено задачу візуалізацію багатовимірних даних. Запропонований метод відображення багатовимірних даних дозволяє швидко візуалізувати велику кількість багатовимірних даних, володіє нелінійністю та дозволяє розрізняти дані на карті. Обчислювальна складність запропонованого методу лінійно залежить від початкових даних.

Розділ 6 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 нейромережевих 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».

Слід зазначити, що дисертаційне дослідження виконувалось відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) та договором між ХНУРЕ та інститутом прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» щодо виконання Державної програми «Інформаційні та телекомунікаційні технології в освіті і науці».

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Наукова новизна одержаних автором результатів дослідження сформульована логічно, коректно і не викликає сумніву.

До наукових результатів слід віднести

- методологічну основу побудови спеціалізованих комп'ютерних систем розподіленої інтелектуальної обробки великих даних, що включає метод збору інформації про користувачів веб-сервісів, метод адаптації предметно-орієнтованих веб-сервісів, методи прискореної обробки великих даних на основі використання нейронних мереж для забезпечення високорівневого доступу до проблемно-орієнтованих програмних комплексів та погодження їх взаємодії в реальному часі;
- принцип проектування проблемно-орієнтованих веб-сервісів, що об'єднує моделі взаємопов'язаних компонентів спеціалізованих комп'ютерних систем розподіленої інтелектуальної обробки великих даних, включаючи узагальнену модель організації проблемно-орієнтованих обчислень, модель мультиагентної системи для оперативного реагування в екстрених ситуаціях з використанням організаційних концепцій агент-група-роль, модель категоризації користувачів веб-служб на основі методу автоматичного породження гіпотез, модель процесу персоналізації веб-ресурсу, на основі агентської та нейромережевої технології;
- принцип побудови адаптивної веб-служби та метод персоналізації Інтернет-сервісу, що забезпечують автоматичне вироблення гіпотез, аналіз поведінки користувача за його серфінгом в Інтернеті, паралельну кластеризацію користувачів з використанням мап Кохонена для надання актуальної інформації з різних аспектів пропонованого сервісу;
- моделі для розподіленої нейромережевої обробки великих даних на основі адаптації топології передачі даних на обчислювальний кластер до архітектури нейронної мережі для збалансування навантаження обчислювальних ресурсів з різними топологіями передачі даних;
- модель Cloud-Fog-Dew архітектури для персоналізованих сервіс-орієнтованих систем з поєднанням розподілених методів і засобів збору, зберігання, обробки та

аналізу великих даних для використання результатів віддаленого моніторингу при прийнятті рішень, включаючи критичні ситуації;

- методологію обробки великих даних нейронними мережами з динамічним перерозподілом робіт між обчислювачами для рівномірного планування навантаження обчислювального кластера з різними топологіями передачі даних;
- методи відображення багатовимірних даних у простір малого розміру із запобіганням відображення багатовимірних даних в одну точку;
- методологію розподіленої інтелектуальної обробки зображень досліджуваного об'єкта з можливістю оперативного аналізу його поведінки;
- метод узгодження дій агентів спілкуванням взаємодіючих сторін для оперативного реагування на критичні зміни обставин;
- методи розподілу робіт і координації групових дій агентів в агентно-орієнтованій системі з динамічним розподілом ролей між агентами для підвищення ефективності їхніх спільних дій.

### **Обґрунтованість і достовірність наукових висновків**

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується коректним застосуванням теоретичних положень та математичного апарату із різних напрямів розвитку сучасної науки: теоретико-множинний підхід для створення узагальненої моделі організації проблемно-орієнтованих обчислень; теорія агентів і багатоагентних систем для розробки методів планування та координації групових дій агентів; Інтернет технології для розробки методу і моделі персоналізації веб-порталу; теоретичні основи побудови високопродуктивних 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, а також результатами обчислювальних експериментів, логічним поданням, прозорістю та доказовістю результатів, отриманих у роботі, їх практичним застосуванням, що підтверджується актами впровадження. Все зазначене надало можливість автору дослідження одержати нові коректні наукові результати і висновки, які відповідають високому сучасному науковому рівню. Методологічне і теоретичне обґрунтування вихідних положень, використання комплексу взаємодоповнюючих методів дослідження, аналіз фактичного та експериментального матеріалів забезпечили достовірність результатів.

### **Практична цінність дисертаційної роботи**

Важливо відзначити практичне значення одержаних здобувачем результатів дослідження, яке полягає у можливості їх впровадження у діяльність державних установ, товариств з обмеженою відповідальністю, навчальних закладах вищої освіти та інших організаціях, включаючи методологічні основи побудови сервіс-орієнтованої комп'ютерної системи екстреного реагування в розподіленому середовищі, структури та базові модулі сервіс-орієнтованої комп'ютерної системи екстреного реагування, методологічні основи розподіленої обробки великих даних з урахуванням топології обчислювального кластера, методик спілкування взаємодіючих сторін мультиагентної системи для доступу предметних користувачів до проблемно-орієнтованих програмних комплексів, одержання актуальної інформації з різних аспектів пропонованого сервісу та оперативного реагування на виникаючі інциденти.

### **Повнота викладення здобувачем основних результатів дисертаційної роботи у публікаціях**

Результати дослідження Н.Г. Аксак пройшли необхідну широку апробацію: вона виступила з доповідями на багатьох міжнародних та національних науково-практичних конференціях та семінарах у провідних наукових закладах за тематикою дослідження.

Вивчення дисертації та праць здобувача дає можливість зробити висновок про те, що основні результати дисертаційного дослідження з достатньою повнотою викладено у 41-й статті у фахових виданнях України з технічних наук (4 статті опубліковано одноосібно, 20 статей включено у міжнародні наукометричні бази, 3 – до баз Scopus та WoS), 44 тези доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій (4 включено до бази Scopus).

Дисертаційна робота написана грамотно, логічно, тексту притаманна цілісність, прозорість та зв'язність викладення. Науково-технічна термінологія дисертаційної роботи є сучасною та загально визнаною.

Зміст автореферату є ідентичним змісту основних положень дисертації.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

До дисертації та автореферату є зауваження, які можуть скласти основу для дискусії; до них можна віднести таке:

1. У розділі 1 проведено аналіз методів інтелектуальної обробки інформації, при цьому автор приділив основну увагу штучним нейронним мережам, які

використано в роботі, як найбільш потужному інструменту для вирішення погано формалізованих завдань. Разом з тим існують інші методи інтелектуальної обробки інформації, зокрема генетичні алгоритми, штучні імунні системи, мурашкові колонії, бджолині рої тощо, яким автор не приділив належної уваги.

2. У розділі 2 дисертаційної роботи автором розроблено інформаційний портрет користувача за часом відвідування сторінки, типу переходів та інформації про поведінку на виході, але не зрозуміло, як використовується цей портрет.

3. З дисертаційної роботи (розділ 3) незрозуміло, в який спосіб організується взаємодія Dew-серверу, Fog-серверу та Cloud-серверу в запропонованій Cloud-Fog-Dew архітектурі для персоналізованих сервіс-орієнтованих систем при наданні послуг клієнту.

4. Результатом планування дій агентів в запропонованій мультиагентній системі для оперативного реагування в екстрених ситуаціях (розділ 3) є множина ланцюжків переходів агентів з початкового стану в кінцевий. Доцільним було б ще вибирати з множини ланцюжків оптимальний ланцюжок, що реалізує поставлену мету.

5. Для ефективного функціонування сервіс-орієнтованій системи та своєчасного реагування при виникненні інциденту в третьому розділі роботи запропоновано методи розподілу робіт агентів, узгодження дій агентів та взаємодії агентів у мультиагентній системі. Доцільним було б провести експериментальні дослідження, які підтверджують ефективність запропонованих методів.

6. Доцільним було б розглянути використання запропонованої в розділі 4 моделі MapReduce для розподіленої нейромережевої обробки великих даних в обчислювальному середовищі з топологіями «зірка», «повнозв'язний граф» та «гратка» не тільки для багатошарової нейронної мережі прямого поширення, а й для інших типів нейронних мереж.

7. Запропоновані здобувачем моделі та методи не завжди зберігають свою назву, що ускладнює сприйняття матеріалу дисертації. Було б доцільно не тільки вказати конкретний зміст статті в особистому внеску здобувача, але й для кожної з них вказати до якої моделі чи метода, тобто до яких пунктів наукової новизни цей матеріал відноситься.

Вказані зауваження не знижують цінності дисертаційної роботи в цілому, її науково-теоретичного та практичного значення.

### Загальні висновки по роботі

Дисертаційна робота Аксак, Наталії Георгіївни є завершеною науковою працею, в якій сформульовано нові науково обґрунтовані положення, принципи та методи, отримано практичні результати стосовно розподіленої інтелектуальної обробки великих даних, які дозволяють максимально ефективно використовувати ресурси шляхом розробки та реалізації методів і моделей на основі штучних нейронних мереж та агентно-орієнтованого підходу з використанням концепції хмарних обчислень, вона повністю відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. Результати дослідження мають значні перспективи для їх подальшого розвитку та практичного застосування у різних предметних галузях.

За ступенем новизни, актуальністю теми, обґрунтованістю отриманих наукових і практичних результатів, а також внеском у сучасну науку, дисертаційна робота повністю відповідає вимогам “Порядку присудження наукових ступенів”, затверджених постановою Кабінету міністрів України № 567 від 24.07.2013 року щодо докторських дисертацій, а Аксак, Наталія Георгіївна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент

професор кафедри «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі» Одеського національного політехнічного університету  
доктор технічних наук, професор

О.В. Дрозд

Вчений секретар Одеського національного політехнічного університету



В. І. Шевчук