

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Примушка Арсентія Миколайовича

на тему «**Модель синтаксично-семантичного узгодження інформації про стани вузлів електроенергетичних мереж на основі теорії інтелектуальних систем та безконфліктних реплікованих типів даних**», представлену на

здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань

12 - Інформаційні технології за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Арсентія Миколайовича Примушка присвячена вирішенню наукового завдання, що знаходиться на стику комп'ютерних наук, теорії розподілених систем та штучного інтелекту. Сучасні електроенергетичні мережі (ЕЕМ) переживають парадигмальний зсув, перетворюючись із централізованих, ієрархічних структур на гетерогенні, децентралізовані інтелектуальні кіберфізичні системи. Ця трансформація, зумовлена масовою інтеграцією відновлюваних джерел енергії в енергосистеми, пристроїв Інтернету речей та нових ринкових моделей взаємодії, що переміщує ключові виклики з фізичного домену в інформаційний.

Наслідком цього є експоненційне зростання обсягів генерованих та збережуваних даних, що супроводжується підвищенням інформаційної ентропії та неконсистентності – станом, коли різні частини системи оперують суперечливою або застарілою інформацією. В умовах цілеспрямованих атак на енергетичну інфраструктуру України, проблема втрати керованості через інформаційний хаос стає питанням національної безпеки. Існуючі підходи до узгодження даних, здебільшого, зосереджені на синтаксичному рівні, залишаючи поза увагою ключову проблему семантики, а саме єдину інтерпретацію даних компонентами мережі.

У цьому контексті дисертаційна робота, в рамках якої було запропоновано комплексну модель синтаксично-семантичного узгодження, є актуальною та своєчасною. Вона спрямована на створення науково-методологічної основи для побудови нового покоління інтелектуальних, резильєнтних та керованих ЕЕМ.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх та новизни.

Наукова новизна роботи полягає у розробці та формалізації цілісної концептуальної рамки для забезпечення синтаксично-семантичної узгодженості в розподілених ЕЕМ. Ключові результати, що мають **наукову новизну**:

1. Вперше запропоновано гібридну модель узгодження, яка синергетично поєднує два рівні: високорівневий семантичний, реалізований на основі розробленого апарату когнітивних алгебраїчних систем, та низькорівневий синтаксичний, що базується на адаптованій теорії безконфліктних реплікованих типів даних.

2. Вперше розроблено метод представлення стану вузлів ЕЕМ, що враховує статичні та динамічні властивості в рамках комбінованої моделі КАС-CRDT, забезпечуючи можливість формальної верифікації логіки узгодження.

3. Вперше адаптовано CRDT для гарантованого синтаксичного узгодження даних саме про стан вузлів та підсистем ЕЕМ.

4. Набули подальшого розвитку принципи застосування моделі акторів та функціонального програмування для створення програмних симуляцій розподілених, асинхронних та відмовостійких інтелектуальних КФС.

Практичне значення отриманих результатів визначається їхньою спрямованістю на вирішення нагальних задач функціонування сучасних ЕЕМ:

- Розроблена модель КАС-CRDT є готовим інструментарієм для підвищення спостережуваності та керованості розподілених мереж шляхом зменшення інформаційної ентропії.

- Запропонований підхід до симуляції на основі Scala та Akka може бути використаний для дослідження та валідації нових алгоритмів управління в динамічних середовищах ЕЕМ.

- Результати роботи можуть бути адаптовані для інших критичних інфраструктур (транспорт, логістика), де синтаксично-семантична узгодженість даних є ключовою вимогою.

Теоретичне та практичне значення результатів дисертації полягає у вагомому внеску в розвиток складних інтелектуальних кіберфізичних систем. Розробка формалізму КАС та його інтеграція з CRDT створює нову методологічну основу для проектування та аналізу семантично насичених, верифікованих та відмовостійких розподілених систем, виходячи за межі суто синтаксичних підходів до узгодження.

Оцінка змісту, структури та завершеності роботи

Дисертаційна робота обсягом 221 сторінка (основний текст — 171 сторінка) має чітку і логічну структуру, що послідовно розкриває тему дослідження. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку з 349 використаних джерел та додатків.

Вступна частина дисертації послідовно вибудовує логіку дослідження. Починаючи з обґрунтування актуальності та аналізу проблеми, автор переходить до чіткого формулювання мети, завдань, наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів. У вступі також зафіксовано відповідність роботи науковим планам профільної установи, представлено інформацію про особистий внесок автора та апробацію ключових висновків у наукових публікаціях.

У *першому* розділі системно аналізується перехід централізованих та монолітних електроенергетичних мереж до інтелектуальних розподілених та децентралізованих кіберфізичних систем, виявляються ключові виклики, пов'язані зі зростанням інформаційної ентропії та неконсистентності даних, постулюється відсутність формальної бази для проектування та реалізації інтелектуальних систем та доводиться неспроможність існуючих підходів забезпечити одночасно синтаксичну та семантичну узгодженість інформації про стани вузлів та компонентів мережі.

У *другому* розділі описується формальний теоретичний апарат – вводиться поняття когнітивної алгебраїчної системи як інструменту семантичного

узгодження, розглядаються CRDT як механізм синтаксичної збіжності та обґрунтовується їхня синергетична комбінація в гібридній моделі KAC-CRDT для забезпечення гарантованої синтаксично-семантичної узгодженості інформації про стани вузлів EEM.

У *третьому* розділі формалізується структура стану вузла EEM, описується детальний протокол синтаксично-семантичного узгодження та вводяться метрики для кількісної оцінки рівня узгодженості.

Четвертий розділ присвячений емпіричній валідації: описується архітектура програмного прототипу, реалізованого на Scala та Akka, та аналізуються результати імітаційного моделювання, які підтверджують ефективність запропонованої моделі.

У *висновку* наголошується, що проведені дослідження мають значну наукову новизну та практичну цінність. Результати роботи вирішують актуальне наукове завдання, пропонуючи інноваційну модель узгодження інформації, що дозволяє суттєво зменшити невизначеність (ентропію) в розподілених енергетичних системах.

Робота є завершеним, цілісним науковим дослідженням, висновки логічно випливають зі змісту, а поставлені у вступі завдання повністю вирішені.

За своєю тематикою, змістом та сукупністю представлених наукових результатів, включаючи публікації та апробацію, дисертаційна робота повністю відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Дотримання принципів академічної доброчесності

Аналіз дисертаційної роботи підтверджує, що вона виконана з неухильним дотриманням принципів академічної доброчесності. Усі запозичені ідеї, результати та джерела мають відповідні посилання, а ознаки плагіату, фабрикації чи фальсифікації даних відсутні.

Повнота публікацій матеріалів досліджень

Основні положення та результати дисертації повною мірою висвітлені у 15 наукових працях здобувача, серед яких 7 статей у фахових виданнях України, 4 статті у виданнях, що індексуються в базі даних Scopus (включно з виданнями кuartилів Q1 та Q2) , та 4 тези доповідей на наукових конференціях. Такий обсяг публікацій є більш ніж достатнім і свідчить про належну апробацію та визнання отриманих результатів науковою спільнотою.

Зауваження щодо результатів, змісту та оформлення дисертації:

1. У підрозділі 4.4 бракує більш детального опису практичної складової дисертаційної роботи, а саме схематичного та графічного опису принципів та порядку роботи спроектованого програмного забезпечення, його режимів та порівняльної характеристики з існуючими рішеннями.

2. В роботі не досліджено, як запропонована модель поводитиметься в умовах динамічної зміни структури мережі (додавання/видалення вузлів, зміна фізичних з'єднань). В роботі розглянуто моделювання на мережі зі статичною топологією.

3. Експериментальні результати демонструють ефективність моделі KAC-CRDT. Однак, дослідження не містить порівняльного аналізу з базовими або альтернативними підходами (наприклад, системою, що використовує лише

CRDT без семантичного шару КАС). Таке порівняння дозволило б кількісно оцінити переваги саме запропонованої гібридної моделі.

4. Модель використовує детерміновану функцію корекції C для відновлення семантичної узгодженості. В дисертації не розглядаються сценарії, коли ця функція сама може містити помилки або стати єдиною точкою відмови на семантичному рівні.

5. У роботі відсутній кількісний аналіз обчислювальних та комунікаційних накладних витрат, які створює цей додатковий шар, що є важливим фактором для оцінки практичності моделі. Хоча розглянута в роботі практична реалізація додає семантичний шар верифікації (КАС) поверх синтаксичного шару CRDT.

6. В імітаційній моделі стан вузла спрощено до трьох дискретних рівнів (“зелений”, “жовтий”, “червоний”) на основі одного параметра — активної потужності. Це є значним спрощенням, яке не відображає багатовимірну та безперервну природу стану реального вузла (напруга, частота, реактивна потужність), що може обмежувати можливість узагальнення експериментальних висновків.

7. В дисертаційній роботі то тут, то там, зустрічаються стилістичні помилки.

Ці зауваження мають дискусійний характер і вказують на перспективні напрямки розвитку отриманих результатів, жодним чином не применшуючи їхньої наукової та практичної значущості.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Примушка Арсентія Миколайовича на тему «Модель синтаксично-семантичного узгодження інформації про стани вузлів електроенергетичних мереж на основі теорії інтелектуальних систем та безконфліктних реплікованих типів даних» є завершеним, самостійним науковим дослідженням, в якому вирішено важливе наукове завдання, що має істотне значення для галузі інформаційних технологій.

За актуальністю, науковою новизною, теоретичною та практичною цінністю отриманих результатів дисертація повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р.

Враховуючи вищевикладене, вважаю, що здобувач Примушко Арсентій Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп’ютерні науки».

Офіційний опонент:

Завідувач відділу теоретичної електротехніки
та діагностики електротехнічного обладнання
Інституту електродинаміки НАН України,
д.т.н., с.н.с.

Євген ЗАЙЦЕВ