

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Титаренка Андрія Миколайовича

на тему **«Глибоке навчання з підкріпленням для задач роботизованого догляду»**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань **12 Інформаційні технології**
за спеціальністю **124 Системний аналіз**

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота присвячена дослідженню актуального напрямку — розробці та вдосконаленню інтелектуальних систем роботизованого догляду. Актуальність теми обумовлена суттєвим зростанням потреби у таких системах внаслідок демографічного старіння населення, збільшення кількості осіб з обмеженими можливостями, в умовах нестачі людських ресурсів для забезпечення повноцінного догляду за пацієнтами.

Застосування глибокого навчання з підкріпленням постає як перспективний напрям, який дозволяє створювати адаптивні, обчислювально ефективні та відносно недорогі в експлуатації системи роботизованого догляду.

Запропоноване у роботі поєднання методів глибокого навчання з підкріпленням, навчання імітацією та системного аналізу дозволяє підвищити обчислювальну ефективність, успішність і безпечність взаємодії людини і робота, а також інтерпретовність отриманих рішень.

Алгоритми штучних нейронних мереж мають здатність навчатися на основі взаємодії із середовищем, апроксимуючи складні процеси, які важко точно описати класичними методами. Все вищенаведене зумовлює високу актуальність та перспективність дослідження як у національному, так і в науковому контексті.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукові результати, викладені в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими та експериментально підтвердженими.

Достовірність отриманих результатів забезпечується застосуванням сучасного математичного апарату, формалізацією задач у термінах марковських процесів прийняття рішень, ретельною постановкою оптимізаційних проблем, а також багаторівневим аналізом отриманих даних.

Положення, які виносяться на захист, підтверджені численними обчислювальними експериментами в симуляційному середовищі Assistive Gym, а також фізичною реалізацією прототипу роботизованої системи для задач

годування. Результати емпіричних досліджень проаналізовані із застосуванням статистичних та метричних методів.

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

- запропоновано комбіноване використання навчання з підкріпленням і навчання імітацією для задач роботизованого догляду, що дозволяє скоротити обсяг навчальних даних та забезпечити стабільність поведінки нейромережових стратегій;

- розроблено метод раннього виявлення аномальної поведінки стратегій штучних нейронних мереж на основі нормалізуючих потоків, що дозволяє мінімізувати ризики в системах фізичної взаємодії людини та робота;

- запропоновано підхід багатокрокового прогнозування у лінеаризованих прихованих просторах станів, що забезпечує покращення інтерпретованості та керованості стратегій, а також зниження обчислювальних витрат;

- реалізовано фізичну систему керування пристроєм для годування з використанням наскрізних нейромережових стратегій та адаптивного згладжування траєкторій, що дозволяє забезпечити безпечну взаємодію з пацієнтом без необхідності використання дорогих апаратних компонентів.

Таким чином, дисертаційна робота містить низку результатів, що мають ознаки наукової новизни, належно обґрунтовані та підтверджені як теоретично, так і експериментально.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі математичних методів системного аналізу КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках наступних НДР:

- Розробити кількісні та якісні методи прийняття рішень у стохастичних та мінливих середовищах на основі аналізу нелінійних систем та задач оптимізації з особливостями, номер державної реєстрації 0122U000668 (з 01.01.2022 р. по 31.12.2026 р.) / [М.З. Згуровський та ін.];

- Розробити методи та засоби навчання з підкріпленням для прикладних задач дослідження операцій, номер державної реєстрації 0124U000682 (з 01.01.2024 р. по 31.12.2026 р.) / [П.О. Касьянов та ін.];

міжнародно-технічної програми (проєкту):

- Нові засади та алгоритми для процесів послідовного прийняття рішень в умовах ризику для застосування в секторі безпеки (New foundations and algorithms for risk-aware sequential decision processes with defense applications), номер державної реєстрації 238/1573 (з 01.09.2024 по 31.08.2027 р.) / [П.О. Касьянов та ін.];

за договором із закордонним замовником:

- Розробити інтегрований підхід до високопродуктивного моделювання протеїнових комплексів, структурно-функціональних взаємозв'язків протеїнів, та прогнозування фенотипних ефектів варіації однієї амінокислоти на основі

кінетичних аспектів поєднання протейнів у клітинному середовищі, номер державної реєстрації 0124U001308 (з 01.12.2023 р. по 31.12.2024 р.) / [П. О. Касьянов та ін.];

під керівництвом директора ННК ІПСА КПІ імені Ігоря Сікорського, доктора ф.-м.н., професора, члена-кореспондента НАНУ Касьянова Павла Олеговича.

В дисертаційній роботі поставлене наукове завдання:

- Розробити нейромережеві методи керування для роботизованих систем, які працюють у непередбачуваних середовищах і взаємодіють з людиною.
- Обґрунтувати використання навчання імітацією у поєднанні з навчанням з підкріпленням для отримання робастних і ефективних стратегій керування.
- Дослідити безпеку взаємодії роботизованих систем із пацієнтами, враховуючи фізичний контакт та можливі непередбачувані зміни середовища.
- Розробити підхід раннього виявлення аномальної поведінки стратегії або пацієнта для забезпечення робастного механізму безпеки в задачах догляду.
- Дослідити способи інтерпретації нейромережевих стратегій за допомогою моделювання динаміки середовища.
- Розробити підхід до навчання нейронних мереж для зменшення розмірності представлення (стану) середовища і спрощення динаміки отриманого простору станів.
- Розробити систему керування фізичною роботизованою системою для догляду з використанням розробленої методології для підтвердження.
- Проаналізувати отримані результати, визначивши переваги, обмеження та потенційні напрямки вдосконалення розроблених підходів.

Поставлене завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Титаренка А.М. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності **124 Системний аналіз** та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Системний аналіз.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інформаційних технологій.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Титаренка Андрія Миколайовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату

та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота Титаренка Андрія Миколайовича написана українською мовою, витримана у науковому стилі, що відповідає вимогам до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії. Виклад матеріалу є послідовним, логічно обґрунтованим, відзначається чіткою структурою та високим рівнем академічної культури. У роботі застосовано фахову термінологію у галузі системного аналізу, штучного інтелекту, машинного навчання та робототехніки, що є загальновизнаною в науковому середовищі.

Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку літератури та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації 159 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, а також описано методологічну основу дослідження.

Перший розділ містить огляд сучасного стану проблематики автоматизації процесів догляду, зокрема в умовах демографічних та соціальних викликів в Україні. Розглянуто особливості існуючих систем догляду, проаналізовано переваги та недоліки нейромережевих підходів для автоматизації догляду.

У другому розділі запропоновано метод підвищення робастності систем керування для задач роботизованого догляду на основі дифузійних стратегій та алгоритмів навчання з підкріпленням.

Третій розділ присвячено формуванню стратегій керування для виконання базових задач догляду. Стратегії базуються на візуальній інформації без використання привілейованих даних. Запропоновано підхід до навчання таких стратегій. Запропоновано архітектуру нейронної мережі та підтверджено її ефективність у симуляційному середовищі.

У четвертому розділі розроблено підхід до раннього виявлення аномальної поведінки, який забезпечує підвищення безпеки під час фізичної взаємодії з пацієнтом.

П'ятий та шостий розділи спрямовані на зменшення розмірності простору станів та оптимізацію представлення дій, що дозволяє підвищити інтерпретованість стратегій.

У сьомому розділі представлено цілісну багатокomпонентну систему керування роботизованим пристроєм для задач догляду. Описано реалізацію фізичної системи годування, яка включає адаптивні механізми керування на основі штучного інтелекту.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 5 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus; 1 патент на винахід, що пройшов кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосується наукових результатів дисертації; 1 одноосібний розділ в колективній монографії.

Також результати дисертації були апробовані на 1 науковій фаховій конференції.

Усі наукові публікації, що враховані за темою дисертації, містять обґрунтоване викладення положень, що виносяться на захист, та відповідають вимогам академічної доброчесності.

Більшість публікацій є одноосібними публікаціями здобувача. Єдиною роботою, виконаною у співавторстві є патент, в рамках якого здобувач зазначений серед основних винахідників. Особистий внесок здобувача полягає в розробці алгоритму імовірнісного парування показників сенсорів для виявлення та опису руху людини за даними з камери. Особистий внесок здобувача становить суттєву частину змісту, зокрема стосується розробки алгоритмів, їх реалізації, експериментальної перевірки та аналізу результатів.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повною мірою висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Дисертаційна робота є загалом цілісною, добре структурованою та змістовною. Водночас, доцільно звернути увагу і уточнити окремі аспекти, окремі з них можуть бути враховані у подальших дослідженнях автора:

1. Чи існують методи, на основі яких можна здійснювати ініціалізацію гіперпараметрів в пропонованих двох алгоритмах (стор. 61 та стор. 75)?

2. Чи мається на увазі під Алгоритмом 1 на стор.55 алгоритм, описаний в п. 2.3?

3. Бажано уточнити чому на стор. 65 зроблено посилання на джерело [7] за умови що результати в таблиці 3.1 є авторськими, отриманими у роботі.

4. Бажано уточнити на с.70 (останній абзац) що розуміється під навчанням мережі без явного навчання цього процесу.

5. Наскільки сильно порогове значення для U_{ESP} впливає на результат (с.73, другий абзац)? Аналогічно щодо впливу гіперпараметрів λ_1 , λ_2 на стор. 90, 91.

6. Бажано уточнити які саме Таблиці 1 – 5 маються на увазі на стор.77 (останній абзац).

7. В текст висновків на с.81 (третій абзац) бажано додати уточнення які конкретно методи перевершують запропоновані в роботі моделі, алгоритми.

8. В таблиці 5.1 на с.93 для кращого сприйняття результатів можна було б додати слова «пропонована модель», а саме «пропонована модель БК-Е2С(3)», «пропонована модель БК-Е2С(5)», «пропонована модель БК-Е2С(7)». Або уточнити в тексті роботи чи всі наведені в таблиці 5.1 значення відповідають пропонованим моделям, методу.

9. Бажано уточнити як висока швидкість локально-лінійних алгоритмів керування, які згадуються на стор. 97 (перший абзац), співвідноситься з точністю вказаних алгоритмів.

10. Бажано було б більшою мірою розкрити поняття «стилю» траєкторії (стор. 116) для врахування мультимодальності демонстрацій зроблених людиною.

11. Чи може замість L_1 -норми бути використана інша норма під час регуляризації на стор.119?

12. В чому була складність успішної реалізації темпоральної агрегації в експерименті (стор.123, останній абзац)?

13. У висновках до окремих розділів бракує узагальнень щодо обмежень запропонованих підходів, що могло б надати більш критичну перспективу.

14. У майбутній роботі було б доречно розглянути методи сімейства Вивчення Керованих Просторів (ВКС), такі як предиктивне кодування, з метою зробити ВКС придатними для високовимірних реальних Марковських процесів прийняття рішень з обмеженою кількістю даних. Також бажано дослідити можливість не лише кодувати стан, але й простір дій, який може мати складну структуру.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Титаренка Андрія Миколайовича на тему «Глибоке навчання з підкріпленням для задач роботизованого догляду» виконана на високому науковому рівні,

не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

Здобувач Титаренко Андрій Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 124 Системний аналіз.

Рецензент:

Професор кафедри математичних
методів системного аналізу
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
д.т.н., доцент



Підпис гр. Надія НЕДАШКІВСЬКА
ЗАСВІДЧУЮ
Відділ кадрів та діловодства
підпис пр-ще