

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення

дисертації Омельченко Ігоря Валерійовича

«Методи та моделі керування ієрархічними інтелектуальними агентами на основі великих мовних моделей у задачах планування та навігації»,

яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 12 - Інформаційні технології

за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки

1. Оцінка роботи здобувача у процесі підготовки дисертації і виконання індивідуального плану навчальної та наукової роботи. У процесі роботи над дисертаційним дослідженням аспірант Омельченко І.В. дотримувався індивідуального плану наукової роботи та успішно виконав індивідуальний навчальний план, показав себе як сумлінний дослідник. За час навчання в аспірантурі Омельченко І.В. оволодів такими компетентностями: продукувати нові ідеї та розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та дослідницько-інноваційної діяльності у сфері комп'ютерних наук; виконувати оригінальні дослідження і досягати наукових результатів, які створюють нові знання; застосовувати сучасні методології, методи та інструменти експериментальних і теоретичних досліджень, зокрема цифрові технології; виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науково-прикладні задачі та забезпечувати якість виконуваних досліджень; ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти; а також усно і письмово презентувати та кваліфіковано обговорювати результати наукових досліджень державною та іноземною мовами.

2. Обґрунтування вибору теми дослідження. Наразі активно розвиваються методи створення автономних інтелектуальних агентів на основі великих мовних моделей. Такі агенти взаємодіють з певним середовищем, в якому вони здатні отримувати спостереження, виконувати дії та накопичувати досвід.

Попри значний потенціал великих мовних моделей у задачах прийняття рішень, їх застосування до управління агентами у задачах довготривалого планування має суттєві обмеження. Мовні моделі демонструють високу ефективність у декомпозиції задач, але втрачають ефективність на великих часових горизонтах. Інференс мовних моделей є обчислювально-інтенсивним процесом, який також породжує затримки в роботі системи. Це обмежує можливість застосування мовних моделей до вибору низькорівневих дій. Натомість перспективним напрямком є стратегічне планування у просторі абстрактних дій. Це зумовлює необхідність використання ієрархічних архітектур, наприклад, з двох рівнів — планування мовною моделлю у просторі процедурних навичок (опцій) та виконання низькорівневих дій класичною процедурною частиною системи.

Застосування мовних моделей у задачах прийняття рішень показує значну чутливість таких моделей до формулювання завдань, тому важливим є дослідження підходів до організації контексту мовних моделей.

Великі мовні моделі працюють на основі статистичних методів і генерують

послідовність токенів ітеративно — один токен на кожній ітерації. Токени обираються зі всього доступного словника токенів, що призводить до того, що в прикладних задачах випадково можуть бути обрані продовження вхідної послідовності, які не є рішенням задачі, містять протирічливу інформацію, або порушують очікувану структуру даних. Така ситуація називається проблемою галюцинацій. В задачах, де мовна модель виконує завдання планування, генерація послідовності з випадковими помилками може зробити неможливим використання згенерованого плану через неможливість виконання синтаксичного розбору. Для вирішення цієї проблеми є актуальним застосування методів декодування з обмеженням граматики, які обмежують вибір наступних токенів таким чином, що згенерована послідовність гарантовано відповідатиме очікуваній структурі даних.

Основною формою пам'яті в нейромережевих системах довгий час були чисельні параметри, для оптимізації яких застосовувався метод стохастичного градієнтного спуску або його модифікації. З розвитком великих мовних моделей з'явилася нова парадигма навчання в контексті (In-Context Learning), яка дозволяє агенту накопичувати досвід у поданні природною мовою та адаптуватися до середовища без зміни параметрів мовної моделі. Історія взаємодії агента з середовищем може містити нерелевантні дані, може бути великою та виходити за межі контекстного вікна мовної моделі. Це зумовлює необхідність створення методів узагальнення епізодичних даних до компактної форми, яка міститиме лише релевантну інформацію. Актуальним підходом до вирішення цього завдання є додавання двох рівнів пам'яті — епізодичної пам'яті, яка містить повну історію, та рефлексивної міжепізодичної пам'яті, в якій мовна модель обробляє та узагальнює епізодичні дані.

Окрім фундаментального наукового значення, вдосконалення архітектур ієрархічних інтелектуальних агентів має високу прикладну цінність для галузі робототехніки, для розробки автономних систем, здатних до довготривалого планування та навчання у середовищах зі складною динамікою, які функціонують без постійного втручання оператора. Іншим можливим практичним застосуванням є автоматизація багатокрокових бізнес-процесів, моніторинг інформаційних систем та інфраструктури.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розробка та дослідження методів керування ієрархічними інтелектуальними агентами на базі великих мовних моделей, що забезпечують ефективну декомпозицію абстрактних цілей у послідовності дій, підвищення надійності планування та довгострокову адаптацію поведінки агентів без модифікації параметрів мовної моделі.

Реалізація мети зумовила необхідність вирішення наступних дослідницьких завдань:

- провести аналіз сучасного стану досліджень методів керування інтелектуальними агентами на базі великих мовних моделей (LLM) у задачах планування та навігації, виявити обмеження існуючих підходів щодо ефективності, надійності та довгострокової адаптації;
- розробити архітектуру ієрархічного інтелектуального агента, яка поєднує модуль стратегічного планування на базі LLM з виконавчим механізмом низького рівня, та забезпечує декомпозицію абстрактних цілей у послідовність атомарних дій;

– Виконати дослідження впливу різних методів формування контексту LLM на метрики ефективності агента, обґрунтувати вибір методів формування контексту для задач планування.

– Виконати адаптацію та інтеграцію методу декодування з обмеженням граматики (Grammar-Constrained Decoding) до модуля планування агента для гарантування синтаксичної валідності згенерованих планів та підвищення ефективності планування.

– Розробити метод рефлексивної пам'яті, який дозволяє агенту узагальнювати досвід попередніх епізодів у вигляді правил, забезпечуючи адаптацію поведінки агента без зміни ваг моделі.

– Виконати програмну реалізацію розробленого агента у вигляді програмної системи для моделювання агентів у середовищі Minigrid.

– Провести експериментальні дослідження та порівняльний аналіз роботи агента в різних конфігураціях та порівняти з базовими підходами для підтвердження підвищення ефективності виконання завдань.

Об'єктом дослідження є процеси керування інтелектуальними агентами у середовищах планування та навігації.

Предметом дослідження є методи, моделі та алгоритми керування ієрархічними інтелектуальними агентами з використанням великих мовних моделей, структурованого декодування та механізмів рефлексивної пам'яті.

Методи дослідження. Дослідження зосереджено на розробці концептуальних та комп'ютерних моделей просторової навігації і планування дій автономних агентів у стохастичних, частково спостережуваних середовищах. Для реалізації цих моделей здійснюється синтез, оптимізація та програмна імплементація алгоритмів ієрархічного управління пам'яттю, які поєднуються з методами глибокого навчання, навчання з підкріпленням та великими мовними моделями (LLM) задля ефективної апроксимації стратегій управління і моделей репрезентації знань. Емпірична верифікація запропонованих підходів забезпечується шляхом проведення обчислювальних експериментів на високопаралельних системах, після чого згенеровані великі масиви даних проходили статистичну обробку для кількісної оцінки метрик ефективності розробленого інструментарію.

Методологія дослідження. **Методологічну базу** дослідження складають фундаментальні положення теорії штучного інтелекту, машинного навчання, обробки природної мови, а також теорії ймовірностей та математичної статистики. Для формалізації середовища та поведінки автономних інтелектуальних агентів базовою методологією слугує теорія марковських процесів прийняття рішень (MDP) у поєднанні з парадигмами навчання з підкріпленням. Під час створення архітектури рефлексивної пам'яті та інтеграції методів формування контексту застосовано системний підхід та архітектурні принципи проектування ієрархічних систем управління. Теоретичну основу дослідження становлять наукові праці провідних вітчизняних та зарубіжних учених у галузі розробки великих мовних моделей (LLM), методів декодування з обмеженням граматики (Grammar-Constrained Decoding) та просторової навігації агентів у стохастичних, частково спостережуваних середовищах.

3. Особистий внесок дисертанта в отриманні наукових результатів та їх новизна.

Дисертаційне дослідження виконано здобувачем самостійно, усі сформульовані в ньому положення та висновки з рекомендаціями обґрунтовані на основі особистих досліджень автора. Для аргументації окремих положень використані праці інших науковців, на які додано відповідні посилання. В індивідуальних наукових працях застосовано авторські ідеї та розробки.

Наукова новизна одержаних результатів розкривається у таких положеннях:

вперше:

– розроблено метод адаптивної рефлексивної пам'яті для ієрархічних агентів, який, на відміну від існуючих підходів, здійснює динамічне оновлення множини керуючих правил з використанням операторів модифікації та механізму важливості правил, що забезпечує узагальнення досвіду в процесі не параметричного навчання;

– запропоновано архітектуру ієрархічного інтелектуального агента, у якій велика мовна модель використовується як модуль стратегічного планування з формально обмеженим простором дій на основі граматики та застосовано запропоновану модель рефлексивної пам'яті;

удосконалено:

– метод планування в ієрархічних агентах шляхом використання декодування з обмеженням граматики, що підвищує надійність та ефективність генерації планів;

отримало подальший розвиток:

– методи застосування великих мовних моделей у задачах планування та навігації шляхом поєднання з ієрархічними структурами керування;

– використання методів формування контексту LLM як інструмента керування поведінкою інтелектуальних агентів у динамічних середовищах.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються. Обґрунтованість та достовірність наукових положень результатів і висновків дисертації забезпечена використанням фундаментальних положень теорії штучного інтелекту, машинного навчання, теорії ймовірностей та математичної статистики, наукових першоджерел та методів наукового пізнання. При обґрунтуванні висновків дисертації здобувач керувався положеннями теорії марковських процесів прийняття рішень (MDP), методів навчання з підкріпленням, архітектурних принципів побудови ієрархічних систем на базі великих мовних моделей. Застосування цієї сукупності наукових методів разом із системним підходом до проектування програмного забезпечення надало змогу виконати поставлені в дисертації завдання. Достовірність одержаних теоретичних та практичних результатів додатково підтверджується шляхом емпіричного тестування алгоритмів у стохастичних симуляційних середовищах, що в кінцевому підсумку сприяло статистичній значущості, алгоритмічній відтворюваності та об'єктивності одержаних наукових висновків.

5. Наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості прикладного застосування розроблених методів, моделей та алгоритмів для створення і підвищення надійності ієрархічних інтелектуальних агентів на основі великих мовних моделей. Запропоновані

теоретичні підходи, зокрема архітектура агента з рефлексивною пам'яттю та метод планування шляхом застосування декодування з обмеженням граматики, доведено до рівня конкретних алгоритмічних рішень. Розроблені рішення мають перспективу застосування у задачах проєктування автономних інформаційних систем, систем штучного інтелекту та керування робототехнічними системами (зокрема, в задачах просторової навігації та планування з обмеженнями, сформульованими природною мовою).

Розроблені алгоритми та програмні модулі можуть слугувати основою для подальших прикладних розробок та інтеграції інтелектуальних агентів у системи прийняття рішень, які потребують гарантованої коректності синтаксису згенерованих планів та контролю часу планування. Окрім цього, отримані результати доцільно використовувати у навчальному процесі закладів вищої освіти під час підготовки фахівців галузі знань "Інформаційні технології", зокрема при викладанні дисциплін, пов'язаних із машинним навчанням, проєктуванням автономних агентів та обробкою природної мови.

6. Повнота викладення матеріалів дисертації в роботах, опублікованих автором.

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи повною мірою викладено в 4 публікаціях англійською мовою, з яких: 3 статті опубліковано в фахових виданнях України, 1 проіндексовано в наукометричній базі Scopus.

7. Дотримання академічної доброчесності.

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

8. Апробація матеріалів дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи викладено у доповідях на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях:

– X Міжнародній науково-практичній конференції "Комп'ютерне моделювання у наукоємних технологіях" (КМНТ-2024), ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2024 року, Харків, Україна;

– Міжнародній науково-технічній конференції "Інтелектуальні технології у міждисциплінарних дослідженнях" (ІТМД-2025), ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2025 року, Харків, Україна;

– Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів "Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених", ХНЕУ імені Семена Кузнеця, 2026, Харків, Україна.

9. Оцінка структури, мови та стилю дисертації.

Дисертація написана чіткою мовою, структура дисертації відповідає алгоритму здійсненого автором дослідження. Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступний для сприйняття. Зміст, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам до оформлення дисертації, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року №40 (із змінами, внесеними згідно з Наказом МОН №759 від 31.05.2019 р.), і вимогам Постанови Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.2022 р. «Про затвердження

Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення ~~ради~~ спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту.

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота І.В. Омельченка відповідає спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

11. Результати обговорення та проведення презентації. Рекомендація дисертації до захисту.

Здобувачем було представлено основні результати дисертаційної роботи на засіданні кафедри математичного моделювання та аналізу даних Навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та штучного інтелекту Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна щодо попередньої експертизи дисертації у формі презентації і наукової дискусії після її завершення. За підсумком обговорення, дисертаційне дослідження було оцінено позитивно. Дисертаційна робота Омельченка Ігоря Валерійовича виконана на високому науковому рівні та є цілісним науковим дослідженням, яке відповідає встановленим вимогам чинного законодавства України.

Враховуючи високий рівень дослідження, актуальність, новизну, практичну цінність отриманих результатів та відповідність роботи спеціальності 12 - Комп'ютерні науки дисертація Омельченка І.В. «Методи та моделі керування ієрархічними інтелектуальними агентами на основі великих мовних моделей у задачах планування та навігації» рекомендується до захисту в спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки з галузі знань 12 — Інформаційні технології.

Головуючий,
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри математичного моделювання
та аналізу даних
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

Володимир СТРУКОВ