ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Головатенка Іллі Анатолійовича

на тему **«Методи та засоби управління автономними логістичними кіберфізичними системами з використанням технологій штучного інтелекту»,**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології

Актуальність теми дисертації.

Тема дослідження є актуальною з кількох причин: зростання попиту на ефективні логістичні рішення, переваги використання кіберфізичних систем зі штучним інтелектом та розвиток технологій штучного інтелекту як таких. Оскільки сучасні ланцюги постачання стають все більш складними та динамічними, це призводить до зростання попиту на ефективні логістичні рішення, які можуть гнучко реагувати на зміни в режимі реального часу. Автономні логістичні кіберфізичні системи (КФС) з використанням штучного інтелекту (ШІ) пропонують перспективний шлях до вирішення такого роду проблем. КФС з ШІ пропонують ряд переваг порівняно з традиційними логістичними системами, а саме: підвищена гнучкість та адаптивність, зменшення часу простою, покращена ефективність використання ресурсів, зниження ризику помилок та підвищення безпеки. Швидкий розвиток технологій штучного інтелекту відкриває нові можливості для створення інтелектуальних логістичних систем. Алгоритми навчання з підкріпленням, наприклад, можуть бути використані для надання КФС можливості динамічно реагувати на зміни у навколишньому середовищі. Представлене дисертаційне дослідження пропонує новий підхід до управління автономними логістичними КФС з використанням ШІ. Розроблені методи та моделі мають значний науковий потенціал і можуть бути використані для вирішення актуальних проблем в галузі логістики. Результати дослідження можуть бути використані для розроблення нових інтелектуальних логістичних систем, які можуть знайти широке застосування в різних галузях, таких як: складське зберігання та транспортування, виробництво, роздрібна торгівля, медицина. Дане дослідження робить внесок у розвиток теорії та практики управління автономними логістичними КФС з використанням ШІ. Крім вищевказаного, можна також зазначити, що тема дослідження відповідає пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки в Україні. Важливо також підкреслити, що дана тема дослідження є міждисциплінарною, що робить її ще більш актуальною та перспективною.

Оцінка обгрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Результати, отримані у дисертаційному дослідженні, містять наукову новизну:

- розроблено новий метод планування шляху для автономних логістичних кіберфізичних систем, що включає в себе модифікації алгоритму A*, які забезпечують управління рухом автономних транспортних засобів у логістичних кіберфізичних системах, з використанням моделей навчання з підкріпленням, для поліпшення прийняття рішень у реальному часі;

- удосконалено модельно-орієнтований метод до моделювання кіберфізичних систем, який, на відміну від існуючих, передбачає симбіоз метамоделювання та моделей бізнес-процесів, що дозволяє визначати ієрархічні структури, залежності між різними елементами кіберфізичних систем, включаючи аспекти їхньої динаміки, ресурсного управління та взаємодії з оточуючим середовищем; та забезпечує ефективність таких систем і їх відповідність стратегічним цілям;

- дістав подальшого розвитку метод до побудови адаптивної логістичної системи на основі інтеграції засобів штучного інтелекту задля оптимізації планування шляху та уникнення перешкод, що, на відміну від існуючих, дозволяє логістичній системі гнучко адаптуватися до змін у внутрішніх та зовнішніх умовах та вчасно уникати перешкоди, що визначається високою продуктивністю та задоволенням вимог сучасного логістичного середовища, де швидкість реагування та ефективне управління ресурсами визначають успіх системи.

У дослідженні використовувалися сучасні наукові джерела, такі як: наукові статті та монографії, що дозволило здобувачу бути в курсі останніх досягнень в цій галузі та отримати ґрунтовну теоретичну базу для дослідження.

Здобувачем були проведені експериментальні дослідження, які дозволили підтвердити теоретичні положення та практичну цінність отриманих результатів. Результати дослідження були апробовані на наукових конференціях та у публікаціях, що свідчить про їх наукову цінність та практичну значимість.

Пропонований метод ґрунтується на використанні алгоритмів навчання з підкріпленням, що дозволяє КФС динамічно реагувати на зміни в оточуючому середовищі. Розроблена модель дозволяє КФС ефективно реагувати на перешкоди, які виникають на логістичному шляху, що підвищує безпеку та ефективність роботи системи. У дослідженні були визначені та проаналізовані різні типи обмежень, які необхідно враховувати при плануванні логістичного шляху, такі як: фізичні обмеження та безпекові обмеження. Розроблений метод дозволяє планувати логістичні маршрути з урахуванням безпекових обмежень, що підвищує безпеку роботи системи.

Дослідження ґрунтується на міцній теоретичній базі, яка включає в себе знання з таких галузей, як: штучний інтелект, логістика та теорія управління. Результати дослідження підтверджені експериментами та мають практичну цінність. Результати дослідження відповідають сучасним науковим знанням в цій галузі.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання підвищення ефективності планування в реальному часі логістики автономних транспортних засобів, як складової кіберфізичної системи з використанням моделей навчання з підкріпленням 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 Головатенка І.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інформаційні системи та технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Кіберфізичні системи, Інтернет речей. Робототехніка. Комп'ютерна обробка сигналів різних видів та походження.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Головатенка Іллі Анатолійовича 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.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні та відповідає вимогам академічної чесності.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Загалом, дисертація відзначається послідовним, доступним та науково обґрунтованим викладенням, яке відповідає найвищим стандартам академічної спільноти. Окрім вищезазначеного, можна також додати наступне: дисертація чітко структурована, що полегшує читачеві навігацію по тексту, здобувач використовує різні методи пояснення матеріалу, такі як таблиці, діаграми та приклади, що робить його більш зрозумілим, дисертація добре ілюстрована, що робить її більш візуально привабливою, автор вміло використовує цитати та посилання, що підтверджує його ґрунтовні знання в цій галузі.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 148 сторінок.

У вступі здобувач чітко описує актуальність теми дослідження, ставить перед собою мету та завдання, а також чітко формулює наукову та практичну новизну своїх результатів.

Перший розділ присвячений теоретичним засадам управління автономними логістичними системами, які базуються на концепціях кіберфізичних систем. У розділі вивчаються поняття та принципи кіберфізичних систем і їх застосування у логістиці, а також розглядаються теоретичні моделі, які використовуються для їх управління.

У **другому розділі** здобувач аналізує наявні алгоритми планування шляху. Загальновідомі алгоритми A*, «мурашиний» алгоритм та MIQP беруться до уваги. Здобувач систематично оцінює кожен з методів, оцінюючи їхню застосовність у плануванні логістичних маршрутів.

У **третьому розділі** здобувач представляє новий метод SMART-A*, який базується на модифікації алгоритму A* для побудови безпечних логістичних маршрутів. Крім того, відбувається опис пропонованої архітектури кіберфізичної системи, яка включає в себе застосування хмарних технологій, мікросервісів та інших сучасних методів.

Четвертий розділ описує проведення експериментів та моделювання кіберфізичної логістичної системи для підтвердження отриманих результатів. Проводиться детальний опис кожного етапу починаючи від побудови логістичного маршруту до його виконання автономним логістичним об'єктом. Для моделювання автономного об'єкту використовувалося середовище MATLAB/Simulink. Здобувач наводить детальний аналіз отриманих даних з проведених досліджень, робить висновки щодо ефективності та працездатності розроблених методів та алгоритмів, проводить порівняння результатів виконання поставленої логістичної задачі з використанням розробленого підходу та без нього.

Загалом, дисертація представляє собою ґрунтовне дослідження в галузі управління автономними логістичними кіберфізичними системами з використанням технологій штучного інтелекту. Здобувач чітко формулює проблему, пропонує нові методи та алгоритми, а також експериментально підтверджує їх ефективність.

Дисертація має наукову та практичну цінність і може бути використана для розроблення нових інтелектуальних логістичних систем, які можуть знайти широке застосування в різних галузях.

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 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, що віднесена до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 1 розділ у колективній монографії у співавторстві з науковим керівником, проіндексованій у базі Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Опубліковані праці здобувача мають високий науковий рівень, в яких ґрунтовно та в повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати та висновки дисертаційних досліджень. Особистий внесок автора не викликає жодних сумнівів. У всіх публікаціях дотримано принципів академічної доброчесності.

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

Недоліки та зауваження до дисертаціної роботи.

1. У дисертаційному дослідженні здобувач розглядає сценарій зі статичними перешкодами, було б доцільно провести експериментальне підтвердження запропонованої концепції з динамічними перешкодами.
2. В дисертаційній роботі бажано було б навести формальний опис кооперативної взаємодії між автономними об'єктами, наприклад, сигналізація перешкод могла би відбуватися безпосередньо самими агентами а не у той момент, коли автономний об'єкт зустрічає перешкоду.
3. Аналіз роботи показав, що на даний момент система не розглядає правила дорожнього руху, але архітектура системи це передбачає. Прошу уточнити цей момент.
4. В роботі доцільно було б детальніше проаналізувати технологічний та економічний ефект від впровадження запропонованих здобувачем методів та підходів.
5. В дослідженнях здобувач використав для кластеризації метод k-середніх, доцільно було б провести детальний аналіз наявних методів кластеризації та обрати кращий.

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

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Головатенка Іллі Анатолійовича на тему «Методи та засоби управління автономними логістичними кіберфізичними системами з використанням технологій штучного інтелекту» 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 Головатенко Ілля Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології

Офіційний опонент:

Завідувач відділом досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, доктор технічних наук, професор Василь ТРИСНЮК

Власноручний підпис завідувача відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ , доктора технічних наук, професора Триснюка В.М. завіряю:
Вчений секретар Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ, к. техн. н. Вікторія КЛИМЕНКО

М.П. «13» травня 2024 року