

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
к.т.н., доц.
Тетяна ЖЕЛЯСКОВА

“ 17 ” 03 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 8 від 28 лютого 2025 р. розширеного засідання
кафедри математичних методів системного аналізу
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри математичних методів системного аналізу: професор кафедри д.т.н., професор Бідюк П. І., аспірант кафедри Братусь О. С., доцент кафедри, к.т.н., доцент Голінко І. М., професор кафедри д.т.н., доцент Зайченко О. Ю., професор кафедри д.т.н., професор Зайченко Ю. П., аспірант кафедри Канцедаль Г. О., професор кафедри, д.ф.-м.н., професор Касьянов П. О., професор кафедри д.т.н., доцент Кузнецова Н. В., старший викладач кафедри, доктор філософії Левенчук Л. Б., професор кафедри д. ф.-м. н., професор Лопатін О. К., доцент кафедри д.т.н. Мілявський Ю. Л., д.т.н., професор Панкратова Н. Д., доцент кафедри д.т.н., доцент Недашківська Н. І. доцент кафедри, к.ф.-м.н., доцент Подколзін Г. Б., провідний фахівець навчально-організаційного відділу Рожок О. М., заст. директора НН ІПСА з науково-педагогічної роботи, професор кафедри д.т.н., професор Романенко В. Д., старший викладач кафедри, к.т.н. Савастьянов В. В., доцент кафедри, к.т.н. Савченко І. О., асистент кафедри Сидорський О. В., доцент кафедри, к.ф.-м.н. Статкевич В. М., доцент кафедри, к.ф.-м.н. Стусь О. В., аспірант Титаренко А. М., доцент кафедри к. ф.-м.н., доцент Чаповський Ю. А., доцент кафедри к.ф.-м.н., доцент Яковлева А. П.
 - з кафедри штучного інтелекту: професор кафедри д.т.н., професор Данилов В. Я.
- запрошені з інших організацій:
- з Національного університету біоресурсів і природокористування України, д.т.н., професор, кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, Лисенко В. П.;

- з Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, в.о. завідувача відділу інтелектуальних автоматичних систем № 110 Житецький Л. С.
- з Київського національного університету імені Тараса Шевченка: доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувачка кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень, Капустян О. А.
- з Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри математичного моделювання та статистики Притоманова О. М.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри математичних методів системного аналізу Титаренка Андрія Миколайовича за матеріалами дисертаційної роботи «Глибоке навчання з підкріпленням для задач роботизованого догляду», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 124 Системний аналіз. Освітньо-наукова програма Системний аналіз.

Тему дисертаційної роботи «Глибоке навчання з підкріпленням для задач роботизованого догляду» затверджено на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту прикладного системного аналізу (протокол № 11 від 22 листопада 2021 року) та перезатверджено на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту прикладного системного аналізу (протокол № 3 від 25 березня 2024 року).

Науковим керівником затверджений доктор фізико-математичних наук, професор Касьянов П.О.

2. Запитання до здобувача

Запитання по темі дисертації ставили:

- д.т.н., професор Панкратова Н. Д.
- д.т.н., доцент Недашківська Н. І.
- д.т.н., професор Романенко В. Д.
- д.т.н., професор Данилов В. Я.
- д.ф-м.н., професор Лопатін О. К.
- д.т.н., доцент Кузнецова Н. В.

3. Виступи за обговореною роботою

В обговоренні дисертації взяли участь:

- д.ф-м.н., професор Касьянов П. О.,
- д.т.н., професор Панкратова Н. Д.,
- д.т.н., доцент Недашківська Н. І.,
- д.т.н., доцент Кузнецова Н. В.,
- к.т.н., доцент Тимощук О. Л.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Дослідження присвячене актуальній темі - розробленню та аналізу систем роботизованого догляду. Ця проблема сьогодні набуває особливого значення, адже, кількість осіб, що потребують стороннього догляду стрімко зростає внаслідок демографічних змін та військового конфлікту.

Традиційні методи керування роботами вимагають точного моделювання взаємодії з середовищем, що ускладнює їх застосування у догляді. Натомість, використання глибокого навчання з підкріпленням дозволяє створювати адаптивні системи здатні навчатися на основі взаємодії, що підвищує їхню ефективність і знижує вартість розробки. Поєднання навчання з підкріпленням та навчання імітацією в рамках системного підходу дає змогу оптимізувати системи керування роботизованими пристроями у складних сценаріях взаємодії робота й людини, а також знизити невизначеність в системі за рахунок використання індивідуальних даних осіб, що потребують догляду, при формуванні моделі середовища.

Поєднання глибокого навчання з підкріпленням і методів системного аналізу в догляді (уточнить) має значний потенціал для розв'язання глобальних і національних викликів, пов'язаних зі старінням населення та дефіцитом людських ресурсів, що робить дослідження актуальним та перспективним.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалась на кафедрі математичних методів системного аналізу Навчально-наукового інституту прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у рамках:

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.);

за договором із закордонним замовником

– Розробити інтегрований підхід до високопродуктивного моделювання протейнових комплексів, структурно-функціональних взаємозв'язків

протеїнів, та прогнозування фенотипних ефектів варіації однієї амінокислоти на основі кінетичних аспектів поєднання протеїнів у клітинному середовищі, номер державної реєстрації 0124U001308 (з 01.12.2023 р. по 31.12.2024 р.) / [П. О. Касьянов та ін.].

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

- запропоновано спосіб поєднання навчання з підкріпленням та навчання імітацією для задач роботизованого догляду. Використання навчання імітацією для початкової стратегії, навченої методами глибокого навчання з підкріпленням, дозволяє збільшити стабільність поведінки системи навіть у випадках обмеженості даних щодо взаємодії доглядальника та особи, яку доглядають, використаних для навчання. Підхід також розширюється на навчання реалістичних стратегій, які не використовують привілейовані дані (доступні тільки в симуляції);

- запропоновано підхід багатокрокового прогнозування у лінеаризованих прихованих просторах станів для спрощення динаміки задач роботизованого догляду. Метод забезпечує компактне представлення середовища, що дозволяє підвищити ефективність нейромережових стратегій керування у реальних умовах;

- розроблено метод раннього виявлення аномальної поведінки нейромережових стратегій для безпечності систем догляду. Метод базується на використанні нормалізуючих потоків для прогнозування станів системи та визначення відхилень від очікуваної поведінки. Це дозволяє мінімізувати ризик небажаних ситуацій під час фізичної взаємодії учасників системи роботизованого догляду. Крім того, метод може застосовуватись для розв'язання інших задач раннього виявлення аномалій в часових рядах реального часу, де його якість є кращою за інші підходи;

- розроблено доступну систему керування фізичним роботизованим пристроєм для задач годування осіб, що потребують сторонньої допомоги з використанням наскрізних нейромережових стратегій, яка включає згладжування траєкторій, адаптацію стратегії до індивідуальних особливостей особи, яку доглядають, безпечність та точність виконання завдань. При цьому, сама система не потребує дорогих-комплектуючих.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

Теоретичне значення результатів роботи полягає в розробленні нового підходу до оптимізації нейромережових стратегій керування на основі багатокрокового прогнозування у лінеаризованих прихованих просторах станів, що дозволяє зменшити обчислювальну складність алгоритмів керування та підвищити ефективність роботи систем у реальному часі, а також, розробленні нейромережових алгоритмів керування, що дозволяють створювати роботизовані системи, які адаптивно взаємодіють із навколишнім середовищем та безпечні при фізичному контакті з людиною.

Практична цінність результатів роботи полягає у фізичній реалізації системи керування для розв'язання задач годування осіб, що потребують сторонньої допомоги. Її основу становлять запропоновані у роботі нові моделі, методи, алгоритми, зокрема, алгоритми згладжування траєкторій та кодування дій, які дозволяють системі адаптуватися до індивідуальних особливостей людини, забезпечуючи точність та надійність виконання завдань роботизованого догляду. Запропоновані методи та алгоритми можуть бути використані у реабілітаційних центрах та закладах охорони здоров'я для автоматизації процедур догляду за особами, що потребують сторонньої допомоги, зокрема, у пересуванні та годуванні. Запропонований метод раннього виявлення аномалій у поведінці роботизованих систем дозволяє мінімізувати ризики під час експлуатації пристроїв догляду. Використання нормалізуючих потоків для виявлення небажаних сценаріїв підвищує рівень безпеки, що є критично важливим у задачах фізичного контакту з особою, яку доглядають.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в роботу компанії Синтакс Консалтинг (Акт впровадження від 23.02.2025 р.) та у навчальний процес ІПСА КПІ ім. Ігоря Сікорського при викладанні навчальної дисципліни «Алгоритми робототехніки» (довідка від 10.02.2025 р.).

5. Апробація

1. Tytarenko A. Learning Visual Neural Network Policies for Caregiving Robotics, 2024 *th IEEE International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*: програма міжнар. конф. (Київ, 8–10 жовт. 2024 р.) (довідка №2 від 10.10. 2024 про доповідь А. Титаренка на конференції SAIC 2024, Methods, Tools and Applications of Systems Mathematics);

2. Титаренко А. Глибоке навчання з підкріпленням для задач роботизованого догляду. *Семінар аспірантів кафедри математичних методів системного аналізу*. доп. наук. сем. (м. Київ, 29 жовт. 2024 р.). (довідка №1 від 30.10.2024 р. про доповідь А. М. Титаренка на науковому семінарі кафедри математичних методів системного аналізу НН ІПСА).

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Титаренка А. М. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 5 наукових публікацій, у тому числі:

- 1 одноосібний розділ у колективній монографії;
- 1 стаття у науковому фаховому виданні України за спеціальністю 124 Системний аналіз,
- 2 статті у періодичних наукових фахових виданнях проіндексованих у базах Scopus;

- 1 патент США на винахід.

1. Tytarenko A. Action Encoding in Algorithms for Learning Controllable Environment. *System Analysis and Artificial Intelligence. Studies in Computational Intelligence* / Ed. Zgurovsky M., Pankratova N. New York: Springer, 2023. Vol. 1107. P. 271-287. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-37450-0_16. (Scopus)
2. Tytarenko A. Multi-step prediction in linearized latent state spaces for representation learning. *System research and information technologies*. 2022 №3 P. 139-148. URL: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.3.09>. (Scopus).
3. Tytarenko A. Reducing risk for assistive reinforcement learning policies with diffusion models. *System research and information technologies*. 2024. №3 P. 148-154. URL: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2024.3.09>. (Scopus).
4. Tytarenko A. Detecting unsafe behavior in neural network imitation policies for caregiving robotics. *System research and information technologies*. 2024. №4. P. 86-96. URL: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2024.4.07>.
5. Kurniawan E., Jukl A., Kalajian M., Sytyi M., Tytarenko A., et al. Techniques for generating motion information for videos: patent № US 12,174,290 B2, заявл. 25.08.2022 № US 2022/0268918 A1; опубл. 24.12.2024. URL: <https://image-ppubs.uspto.gov/dirsearch-public/print/downloadPdf/12174290>

Здобувачем розроблено алгоритм імовірнісного парування показників сенсорів для виявлення та визначення характеру руху людини за даними з камери, модифікація якого використовується у підсистемі годування роботизованої системи догляду.

Якість та кількість публікацій відповідають «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».

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Титаренка А. М. «Глибоке навчання з підкріпленням для задач роботизованого догляду», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 124 Системний аналіз за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПП ім. Ігоря Сікорського Системний аналіз зі спеціальності 124 Системний аналіз.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Глибоке навчання з підкріпленням для задач роботизованого догляду», подану Титаренком Андрієм Миколайовичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри математичних методів системного аналізу КПІ ім. Ігоря Сікорського **Зайченко Олена Юріївна;**

Члени:

Рецензенти:

доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри математичних методів системного аналізу КПІ ім. Ігоря Сікорського **Недашківська Надія Іванівна;**

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри математичних методів системного аналізу КПІ ім. Ігоря Сікорського **Кузнєцова Наталія Володимирівна;**

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувачка кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень Київського національного університету імені Тараса Шевченка **Капустян Олена Анатоліївна.**

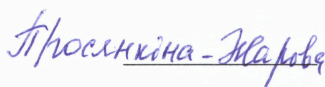
доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри математичного моделювання та статистики Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана **Приотманова Ольга Михайлівна.**

Головуюча на засіданні
к.т.н., доцент, завідувач кафедри
математичних методів системного
аналізу



Оксана ТИМОЩУК

Вчений секретар кафедри
математичних методів
системного аналізу
к.е.н., доцент



Тетяна ПРОСЯНКИНА-ЖАРОВА