

А.О. Блиндарук<sup>1,2</sup>, О.О. Шаповалова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний транспортний університет, Київ

<sup>2</sup>Харківський національний економічний університет ім. Семе́на Кузне́ця, Харків

## ПОЄДНАННЯ МЕТОДІВ GNN ТА NURBS ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті досліджуються можливості інтеграції методів графових нейронних мереж та нерівномірних раціональних B-сплайнів для покращення ідентифікації та відстеження рухомих об'єктів. Автори аналізують потенціал цих технологій у створенні більш точних та надійних систем для різних промислових та наукових застосувань. Розглядаються ключові аспекти обох технологій, включаючи можливості GNN в аналізі та класифікації взаємодій рухомих об'єктів, а також точність NURBS у моделюванні траєкторій. Робота спрямована на вирішення складних задач в реальному часі, де вимагається висока точність в ідентифікації та прогнозуванні поведінки рухомих об'єктів.

**Ключові слова:** графові нейронні мережі (GNN), нерівномірні раціональні B-сплайни (NURBS), ідентифікація рухомих об'єктів, моніторинг рухомих об'єктів, безпілотний транспорт, анімація, системи безпеки, автономні навігаційні системи.

### Вступ

Стрімке зростання застосування автоматизованих систем і передових технологій у світі має вирішальне значення в доменах, де потрібна висока точність і ефективність в обробці значних обсягів даних в умовах реального часу. Однією із важливих областей, де ці критерії є особливо актуальними, є ідентифікація та моніторинг рухомих об'єктів, що знаходить застосування у різноманітних галузях, таких як безпілотний транспорт, анімація, віртуальна реальність, системи безпеки та автономні навігаційні системи. Точність та надійність процесу ідентифікації рухомих об'єктів великою мірою залежать від спроможності застосованих для цього моделей працювати зі значною кількістю факторів та великими обсягами інформації і ще не завжди є прийнятними для розв'язання практичних задач.

**Постановка проблеми.** У цьому контексті актуальність тематики полягає в пошуку нових методів та підходів до ідентифікації та відстеження рухомих об'єктів, які зможуть значно підвищити точність, швидкість реагування та надійність систем, що залежать від цих процесів [1]. Поєднання методів графових нейронних мереж (GNN) та нерівномірних раціональних B-сплайнів (NURBS) представляє собою інноваційний підхід, який відкриває нові можливості для оптимізації та покращення цих процесів.

Інтеграція GNN з NURBS дозволить системі враховувати не тільки індивідуальні характеристики об'єкта, але й взаємозв'язки між об'єктами в просторі, що істотно підвищить точність прогнозування поведінки. До того ж, застосування NURBS забезпечить високу точність моделювання і представлення

неперервних траєкторій руху складових частин об'єктів, що дозволить врахувати найдрібніші відхилення та особливості руху, не досяжні для традиційних методів. Застосування NURBS забезпечить математичну точність та неперервність апроксимації в часі, враховуючи особливості руху окремих складових частин об'єктів спостереження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Графові нейронні мережі вже довели свою здатність ефективно обробляти структуровані дані, зокрема для задач, пов'язаних з визначенням взаємозв'язків і властивостей об'єктів, що взаємодіють [1–3]. Їх застосування в реальному часі для аналізу траєкторій кожної частини рухомого об'єкта в просторі може значно покращити здатність системи ідентифікувати та прогнозувати поведінку об'єктів [2].

З іншого боку, методи NURBS, що використовуються для подання у тривимірному просторі складних форм з високою точністю [4; 5], можуть бути адаптовані для опису траєкторій руху будь-якої визначеної точки об'єкта, забезпечуючи високу гнучкість та точність моделювання. Це дозволить не лише точно відстежувати рух кожної складової частини об'єкта в часі, але й ефективно моделювати їх поведінку в складних умовах. Поєднання цих двох методів відкриває нові можливості в точності і гнучкості ідентифікації та відстеження як рухомих складових частин об'єкта, так і об'єктів в цілому.

Така синергія GNN та NURBS може бути особливо важливою у розв'язанні задач, де потрібна висока надійність та безпека, наприклад, в автомобільній промисловості, для розвитку безпілотних транспортних засобів, у системах авіаційної навігації, у сфері безпеки для ідентифікації й відстеження об'єктів у громадських місцях, в анімації і віртуаль-

ній реальності та в багатьох інших областях, де точність ідентифікації рухомих об'єктів є критичною.

**Мета статті:** на підґрунті огляду літератури довести доцільність інтеграції методів GNN та NURBS, розробити послідовність дій для реалізації побудови системи ідентифікації рухомих об'єктів із застосуванням такого підходу.

## Виклад основного матеріалу

В сфері відстеження багатьох об'єктів у групових структурах лишається потреба у покращенні механізму адаптування до швидких змін, зокрема при входженні або виході об'єктів з поля зору камери [3]. Незважаючи на те, що існують дослідження, спрямовані на розв'язання проблеми втрати цілей через приховування за допомогою просторово-часових кореляцій [6], достеменно не з'ясовано як вирішувати задачу з екстремальними випадками ослаблення, коли об'єкти, що віднесені до певної групи, протягом тривалого часу не з'являються в полі зору камер спостереження.

Варіантом подолання зазначених труднощів може бути використання просторово-часової технології GNN для покращення індивідуальної ідентифікації кожного об'єкта в групі під час спостереження, що допоможе вирішити питання долучення об'єкта до групи після його тривалого зникнення при перешкодах. При цьому використання NURBS технології забезпечить математичну точність при прогнозуванні можливих варіантів руху ідентифікованих об'єктів і дасть змогу вирішити питання щодо динамічної конструкції груп при раптових змінах.

Застосування графових нейронних мереж дозволило досягнути значних результатів у дослідженнях класифікації гіперспектральних зображень (HSI) [7]. Проблема перезгладжування є критичною для класичних GNN, оскільки негативно впливає на продуктивність класифікації, але новий підхід з використанням двох різних графових фільтрів для вилучення характеристик та придушення спотворень графу [7] дозволив впоратись з цією проблемою. Також авторами було досліджено методи подолання проблеми перезгладжування, зокрема з застосуванням різноманітних стратегій регуляризації та модифікації архітектури мережі для стаціонарних об'єктів різної форми.

Дослідження класифікації гіперспектральних зображень потребує продовження з метою включення до класифікації зображень рухомих об'єктів з неперервним спостереженням їх динаміки в часі.

Продовженням досліджень для покращення результатів може бути використання в GNN математичного апарату, що може бути ефективно поєднаний з GNN та забезпечить неперервний зв'язок між станами гіперспектрального зображення при русі

об'єкта спостереження та зміні спектрів пікселів зображень протягом всього часу спостереження. Технологія NURBS може надати суттєві внески в такий підхід як математичний апарат для опису неперервних траєкторій руху точок об'єктів.

У [8] в галузі досліджень методів трекінгу рухомих одиничних об'єктів в умовах, де часто зустрічаються оклюзії (перекриття об'єктів) та хибне розпізнавання, були досягнуті значні результати. Це стало можливим за рахунок застосування підходу до оцінювання, в ході якого асоціація даних інтегрується з чисельною оптимізацією на основі Байєсовської оцінки стану з використанням потенційної функції, що складається із суперпозиції гаусіан, центрованих на кожній спостережуваній ознаці, щоб впоратися з оклюзіями та помилками ідентифікації.

При цьому в дослідженнях методів трекінгу рухомих об'єктів [9] не повною мірою вирішено питання створення універсальної математичної моделі оклюзії, яка б урахувала різні типи перешкод та оцінювала їх рівень впливу на ідентифікацію об'єктів з урахуванням втрати частини інформації, а також вплив цього факту на точність трекінгу. Питання точної оцінки помилок і невизначеностей в межах моделі трекінгу та їхнього впливу на кінцеву точність ідентифікації рухомих об'єктів все же залишається відкритим. Розробка методів для квантифікації та мінімізації цих помилок є критичною для підвищення робастності системи.

Розробка моделей з використанням GNN та поєднання їх з математичними моделями для прогнозування траєкторій найбільш ймовірної поведінки рухомих об'єктів в умовах невизначеності може допомогти вирішити це питання. Бажана математична точність та неперервність спостереження за траєкторією об'єктів, перешкод або їх складових частин при спостереганні явища оклюзії могла б бути забезпечена технологією NURBS.

У роботі [10] для спостереження множинних об'єктів запропоновано новаторський підхід до відстеження множинних об'єктів у візуальних послідовностях онлайн з використанням фільтру гауссової суміші ймовірності гіпотезної щільності у поєднанні з глибоко навченими конволюційними нейронними мережами (CNN) для реідентифікації об'єктів. Це спрямовує проблему втрати сліду об'єктів через оклюзію і покращує точність відстеження та ідентифікації об'єктів у відеопослідовностях. Для реідентифікації втрачених об'єктів використовуються CNN, налаштовані в процесі застосування глибокого навчання [11].

Математичні моделі, які визначають, як саме характеристики об'єктів інтегруються з даними про рух та положення об'єктів відносно перешкод під час оклюзій, могли б допомогти у покращенні точності та надійності реідентифікації [12; 13].

Розробка математичних моделей на основі NURBS для моніторингу характеристик рухомих об'єктів з їх використанням в просторово-часовій моделі GNN можуть покращити результати подальших досліджень в спостереженнях за множинними об'єктами.

Вдосконалена математична модель для використання в GNN з можливістю прогнозу просторово-часової динаміки та автоматичним налаштуванням під конкретні умови сцени є потрібною для адаптації до різних типів сцен з різною густиною об'єктів та різними рівнями оклюзії.

Зазначені вище галузі і дослідження та виявлені проблемні питання дають підставу для продовження розробок в цих галузях та пошуку інноваційних рішень з метою покращення результатів. Як ефективний механізм для розв'язання виявлених проблем та звуження обмежень пропонується поєднання технологій нейронних мереж GNN та математичних методів NURBS з подальшою інтеграцією в інформаційні системи спостереження, ідентифікації та класифікації рухомих об'єктів.

Проте є необхідність не тільки реалізувати новий підхід, але і врахувати недоліки та вирішити поставлені питання для подолання зазначених труднощів у попередніх дослідженнях, що присвячені різним питанням ідентифікації рухомих об'єктів. Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення подальшого дослідження, присвяченого моделюванню ідентифікації поведінки рухомих об'єктів методами штучного інтелекту, в межах якого необхідно вирішити низку задач:

– аналіз існуючих методів ідентифікації та відстеження рухомих об'єктів. Необхідно глибше дослідити поточний стан технік ідентифікації та відстеження, зокрема можливості та обмеження методів, що використовуються в індустрії та науці;

– розробка моделі графових нейронних мереж для аналізу взаємодій рухомих об'єктів. Потрібно розробити та налаштувати GNN, що здатна ефективно аналізувати та ідентифікувати рухомі об'єкти на основі їхніх взаємодій та траєкторій у реальному часі;

– адаптація застосування методів NURBS для моделювання траєкторій рухомих об'єктів та їх складових частин. Це необхідно для точного подання траєкторії руху об'єктів та дозволяє моделювати їх поведінку та динаміку їхніх складових з високою точністю;

– інтеграція GNN та NURBS для розробки гібридної системи ідентифікації та відстеження, яка за рахунок об'єднання переваг обох методів набуде

можливості підвищити точність свого функціоналу;

– тестування та оцінка ефективності розробленої системи на реальних даних для вирішення задач ідентифікації та відстеження рухомих об'єктів за різних умов та галузей.

## Висновки

Дослідження не лише покращить існуючі методи ідентифікації та відстеження рухомих об'єктів, але й відкриє нові можливості для їх застосування в різних областях, зокрема у сферах, де висока точність і надійність є критично важливими. Це дослідження може значно сприяти розвитку безпечніших та ефективніших автоматизованих систем, а також покращити розуміння поведінки рухомих об'єктів в складних умовах.

В результаті вирішення поставлених вище задач, сфокусованих на ідентифікації та відстеженні рухомих об'єктів за допомогою інтеграції графових нейронних мереж і нерівномірних раціональних B-сплайнів, має бути отримано наступне:

– поглиблене розуміння існуючих методів, оскільки дослідження має на меті надати детальний аналіз поточного стану існуючих методів ідентифікації та відстеження, зокрема їхніх можливостей, обмежень та області застосування, що забезпечить основу для розробки нових методів;

– розробка та оптимізація GNN моделі для створення вдосконалених просторово-часових GNN, здатних аналізувати взаємодії та траєкторії рухомих об'єктів в реальному часі. Це поліпшить точність і швидкість реагування систем ідентифікації;

– адаптація та оптимізація NURBS та використання їх для підвищення точності моделювання траєкторій і поведінки рухомих об'єктів з забезпеченням гнучкості подання даних [14];

– розробка гібридної системи ідентифікації та відстеження на підґрунті інтеграції GNN та з поєднанням їх переваг. Очікується, що така система значно покращить точність, швидкість і надійність ідентифікації та відстеження рухомих об'єктів [15];

– тестування та оцінка ефективності під час проведення експериментів на реальних даних для оцінки ефективності розробленої системи. Очікується, що результати покажуть значне поліпшення у порівнянні з існуючими методами в різних умовах і сценаріях застосування. Практичне застосування в критично важливих областях має продемонструвати ефективність нової системи у вирішенні задач ідентифікації та відстеження в таких сферах як безпілотний транспорт, системи безпеки, автономні навігаційні системи, анімація та віртуальна реальність.

## Список літератури

1. Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross B. Girshick, Jian Sun. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2015. Vol. 39. P. 1137–1149.

URL: <https://arxiv.org/abs/1506.01497> (accessed 16.04.2024).

2. Yongji Wang, Ching-Yao Lai. Multi-stage neural networks: Function approximator of machine precision. *Journal of Computational Physics*. 2024. Vol. 504. Art. 112865. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2024.112865>.
3. Wenhao Luo, Junliang Xing, Anton Milan, Xiaoqin Zhang, Wei Liu, Xiaowei Zhao, Tae-Kyun Kim. Multiple Object Tracking: A Literature Review. *Artificial Intelligence*. 2014. Vol. 293. Art. 103448. URL: <https://arxiv.org/abs/1409.7618> (accessed 16.04.2024).
4. Xi Zou, Sui Bun Lo, Ruben Sevilla, Oubay Hassan, Kenneth Morgan. The Generation of 3D Surface Meshes for NURBS-Enhanced FEM. *Computer-Aided Design*. 2024. Vol. 168. Art. 103653. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2023.103653>.
5. Boling Yan, Guofa Xu, Hao Lu, Shaoqing Qin, Chunxia Zhu. Identification of milling information and cutter-workpiece engagement in five-axis finishing of turbine blades based on NURBS and NC codes. *Journal of Manufacturing Processes*. 2023. Vol. 107. P. 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.10.029>.
6. Yajuan Zhang, Yongquan Liang, Jiayu Leng, Zhihui Wang. SCGTracker: Spatio-temporal correlation and graph neural networks for multiple object tracking. *Pattern Recognition*. 2024. Vol. 149. Art. 110249. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2023.110249>.
7. Chellaswamy C., Muthu Manjula M., Ramasubramanian B., Sriram A. FPGA-based remote target classification in hyperspectral imaging using multi-graph neural network. *Microprocessors and Microsystems*. 2024. Vol. 105. Art. 105008. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2024.105008>.
8. Ryooya Abe, Tomoya Kikuchi, Kenichiro Nonaka, Kazuma Sekiguchi. Robust Object Tracking with Continuous Data Association based on Artificial Potential Moving Horizon Estimation. *IFAC-PapersOnLine*. 2020. Vol. 53. No. 2. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2434>.
9. Блиндарук А. О., Шаповалова О. О. Огляд підходів до моделювання рухомих об'єктів за їх поведінкою. *Ольвійський форум – 2023: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі. Технічні науки. Сталій розвиток університетської системи освіти* : матер. XVII Міжнар. наук. конф., м. Миколаїв, 15–18 черв. 2023 р. Миколаїв, 2023. С. 150–156.
10. Nathanael L. Baisa. Occlusion-robust online multi-object visual tracking using a GM-PHD filter with CNN-based re-identification. *Journal of Visual Communication and Image Representation*. 2021. Vol. 80. Art. 103279. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2021.103279>.
11. Yanming Guo, Yu Liu, Ard Oerlemans, Songyang Lao, Song Wu, Michael S. Lew. Deep learning for visual understanding: A review. *Neurocomputing*. 2016. Vol. 187. P. 27–48. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.09.116>.
12. Cheng Liu, Weixuan Song. Mapping property redevelopment via GeoAI: Integrating computer vision and socioenvironmental patterns and processes. *Cities*. 2024. Vol. 144. Art. 104644. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104644>.
13. Rong H., Teixeira A. P., Guedes Soares C. A framework for ship abnormal behaviour detection and classification using AIS data. *Reliability Engineering & System Safety*. 2024. Vol. 247. Art. 110105. <https://doi.org/10.1016/j.res.2024.110105>.
14. Ragusa F., Furnari A., Farinella G. M. MECCANO: A multimodal egocentric dataset for humans behavior understanding in the industrial-like domain. *Computer Vision and Image Understanding*. 2023. Vol. 235. Art. 103764. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2023.103764>.
15. Гавриленко В. В., Блиндарук А. О. Моделювання руху з використанням інформаційних систем на основі штучного інтелекту. *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами* : матер. X Міжнар. наук.-техн. Інтернет-конф., 24 лист. 2023 р. Київ, НУХТ, 2023, С. 83–84. URL: [http://kist.ntu.edu.ua/konferenci/43\\_konf\\_2023.pdf](http://kist.ntu.edu.ua/konferenci/43_konf_2023.pdf) (дата звернення: 16.04.2024).

## References

1. Ren, S., He, K., Girshick, R.B. and Sun, J. (2015), Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 39, pp. 1137–1149, available at: [www.arxiv.org/abs/1506.01497](http://www.arxiv.org/abs/1506.01497) (accessed 16 April 2024).
2. Wang, Y. and Lai, C.-Y. (2024), Multi-stage neural networks: Function approximator of machine precision, *Journal of Computational Physics*, Vol. 504, Art. 112865. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2024.112865>.
3. Luo, W., Xing, J., Milan, A., Zhang, X., Liu, W., Zhao, X. and Kim, T.-K. (2014), Multiple Object Tracking: A Literature Review, *Artificial Intelligence*, Vol. 293, Art. 103448, available at: [www.arxiv.org/abs/1409.7618](http://www.arxiv.org/abs/1409.7618) (accessed 16 April 2024).
4. Xi Zou, Sui Bun Lo, Ruben Sevilla, Oubay Hassan and Kenneth Morgan (2024), The Generation of 3D Surface Meshes for NURBS-Enhanced FEM, *Computer-Aided Design*, Vol. 168, Art. 103653. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2023.103653>.
5. Boling Yan, Guofa Xu, Hao Lu, Shaoqing Qin and Chunxia Zhu (2023), Identification of milling information and cutter-workpiece engagement in five-axis finishing of turbine blades based on NURBS and NC codes, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 107, pp. 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.10.029>.
6. Yajuan Zhang, Yongquan Liang, Jiayu Leng and Zhihui Wang (2024), SCGTracker: Spatio-temporal correlation and graph neural networks for multiple object tracking, *Pattern Recognition*, Vol. 149, Art. 110249. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2023.110249>.
7. Chellaswamy, C., Muthu Manjula M., Ramasubramanian, B. and Sriram A. (2024), FPGA-based remote target classification in hyperspectral imaging using multi-graph neural network. *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 105, Art. 105008. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2024.105008>.
8. Ryooya Abe, Tomoya Kikuchi, Kenichiro Nonaka and Kazuma Sekiguchi (2020), Robust Object Tracking with Continuous Data Association based on Artificial Potential Moving Horizon Estimation, *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 53, No. 2. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2434>.
9. Blyndaruk, A.O. and Shapovalova, O.O. (2023), “Ohliad pidkhodiv do modeliuvannia rukhomykh obiektiv za yikh povedinkoiu” [Review of approaches to modeling moving objects based on their behavior], *Olbia Forum – 2023: strategies of the countries of the Black Sea region in the geopolitical space. Technical sciences. Sustainable development of the university education system : proceedings of the XVII International Scientific Conference*, Mykolaiv, June 15–18, 2023, pp. 150–156.

10. Nathanael L. Baisa (2021), Occlusion-robust online multi-object visual tracking using a GM-PHD filter with CNN-based re-identification, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 80, Art. 103279. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2021.103279>.

11. Guo, Y., Liu, Y., Oerlemans, A., Lao, S., Wu, S. and Lew, M.S. (2016), Deep learning for visual understanding: A review, *Neurocomputing*, Vol. 187, pp. 27–48. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.09.116>.

12. Cheng Liu and Weixuan Song (2024), Mapping property redevelopment via GeoAI: Integrating computer vision and socioenvironmental patterns and processes, *Cities*, Vol. 144, Art. 104644. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104644>.

13. Rong, H., Teixeira, A.P., and Guedes Soares, C. (2024), A framework for ship abnormal behaviour detection and classification using AIS data, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 247, Art. 110105. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110105>.

14. Ragusa, F., Furnari, A. and Farinella, G.M. (2023), MECCANO: A multimodal egocentric dataset for humans behavior understanding in the industrial-like domain, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 235, Art. 103764. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2023.103764>.

15. Havrylenko, V.V. and Blyndaruk, A.O. (2023), “Modeliuvannia rukhu z vykorystanniam informatsiinykh system na osnovi stuchnoho intelektu” [Motion modeling using information systems based on artificial intelligence], *Modern methods, information, software and technical support of management systems of organizational, technical and technological complexes : proceedings of the X International scientific and technical Internet conference*, Kyiv, November 24, 2023, pp. 83–84, available at: [www.kist.ntu.edu.ua/konferencii/43\\_konf\\_2023.pdf](http://www.kist.ntu.edu.ua/konferencii/43_konf_2023.pdf) (accessed 16 April 2024).

Надійшла до редколегії 16.04.2024

Схвалена до друку 20.05.2024

#### Відомості про авторів:

##### Блиндарук Андрій Олександрович

аспірант  
Харківського національного економічного  
університету ім. Семена Кузнеця,  
Харків, Україна  
старший викладач  
Національного транспортного університету,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0009-0009-8596-4020>

##### Шаповалова Олена Олександрівна

кандидат технічних наук  
доцент  
Харківського національного економічного  
університету ім. Семена Кузнеця,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-4566-6634>

#### Information about the authors:

##### Andrii Blyndaruk

Post-Graduate  
of Simon Kuznets Kharkiv  
National University of Economics,  
Kharkiv, Ukraine  
Senior Lecturer  
of the National Transport University,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0009-8596-4020>

##### Olena Shapovalova

PhD in Engineering  
Associate Professor  
of Simon Kuznets Kharkiv  
National University of Economics,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4566-6634>

## INTEGRATION OF GNN AND NURBS METHODS FOR MOVING OBJECT IDENTIFICATION

A. Blyndaruk, O. Shapovalova

*The article investigates the integration of Graph Neural Network (GNN) methodologies and Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS) to enhance the identification and tracking of moving objects. The authors examine the potential of these technologies in creating more accurate and reliable systems for various industrial and scientific applications. Key aspects of both technologies are considered, including the capabilities of GNNs in analyzing and classifying the interactions of moving objects, as well as the precision of NURBS in modeling trajectories. This work is aimed at addressing complex real-time tasks where high accuracy in identification and prediction of moving object behavior is required. As a result of solving the tasks focused on the identification and tracking of moving objects using the integration of GNNs and NURBS, the following should be obtained: in-depth understanding of existing methods, as the research aims to provide a detailed analysis of the current state of existing identification and tracking methods, including their capabilities, limitations, and scope of application, which will provide a basis for the development of new methods; development and optimization of the GNN model to create improved spatio-temporal GNNs capable of analyzing interactions and trajectories of moving objects in real time (this will improve the accuracy and response speed of identification systems); adaptation and optimization of NURBS and their use to increase the accuracy of modeling the trajectories and behavior of moving objects while ensuring the flexibility of data presentation; development of a hybrid identification and tracking system based on GNN integration and combining their advantages. It is expected that such a system will significantly improve the accuracy, speed and reliability of identification and tracking of moving objects; testing and evaluation of effectiveness during experiments on real data to evaluate the effectiveness of the developed system. The results are expected to show a significant improvement over existing methods in various conditions and application scenarios. Practical application in critical areas should demonstrate the effectiveness of the new system in solving identification and tracking problems in such areas as unmanned transport, security systems, autonomous navigation systems, animation and virtual reality.*

**Keywords:** Graph Neural Networks (GNN), Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS), moving object identification, moving object monitoring, unmanned transport, animation, security systems, autonomous navigation systems.