Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»

Кафедра автоматики і телекомунікацій

Донецький науковий центр НАН України і МОН України

«ТАК»

Телекомунікації, автоматизація, комп'ютерно-інтегровані та інформаційні технології

Збірка доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених
(Дрогобич, 18-19 листопада 2025 р.)

Дрогобич
ДВНЗ «ДонНТУ»
2025

УДК 621.39+681+004
Т 15

Рекомендовано до друку Вченою радою ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», протокол №12 від 27.11.25

Редакційна колегія:
Вікторія Воропаєва, к.т.н., професор, перший проректор з науково-педагогічної роботи ДонНТУ;
Гліб Ступак, ст. викл. кафедри автоматики і телекомунікацій, керівник мережної академії Cisco ДонНТУ, голова клубу підприємництва YEP!Club DNTU;
Валерій Поцепаєв, к.т.н., доц., завідувач кафедри автоматики і телекомунікацій ДонНТУ;
Наталія Маслова, к.т.н., доц., к.т.н., доцент кафедри прикладної математики і інформатики ДонНТУ;
Сергій Ковальов, к.т.н., доц., в.о. завідувача кафедри електронної техніки і комп'ютерної інженерії ДонНТУ;
Олександр Колларов, к.т.н., доц., завідувач кафедри електричної інженерії ДонНТУ;
Едуард Петелін, к.т.н., доц., директор навчально-наукового інституту комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації ДонНТУ;
Олена Кучер, к.ф.-м.н., в.о. директора Донецького наукового центру НАН України і МОН України;
Володимир Ставицький, к.т.н., інженер-програміст вбудованих систем, ТОВ «РЗА СИСТЕМЗ»;
Семен Батир, к.т.н., провідний інженер-розробник Ring Ukraine.

Відповідальність за зміст, новизну та оригінальність наданого матеріалу несуть автори.

Т 15 **«ТАК»**: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології: зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, Дрогобич, 18-19 листопада 2025р. / ДВНЗ «ДонНТУ; відп. ред. Г.В. Ступак. – Дрогобич: ДВНЗ «ДонНТУ», 2025. – 142 с.

До збірника увійшли матеріали доповідей, представлених на Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології. Конференція проводилася кафедрою автоматики та телекомунікацій (АТ) ДВНЗ «Донецький національний технічний університет».

У збірнику представлені результати досліджень та розробок молодих вчених із технічних вузів та наукових закладів України.

Збірник призначений для викладачів, аспірантів і студентів вищих технічних навчальних закладів, а також фахівців з телекомунікацій, автоматизації, інформаційних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, електротехніки та електромеханіки.

УДК 621.39+681+004

© ДВНЗ «ДонНТУ», 2025

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДТРИМКИ ДОВГОТРИВАЛОЇ СЕМАНТИЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ У СИСТЕМАХ ВІЗУАЛЬНОГО SLAM

Соболь Є.А., аспірант, yevhen.sobol.asp@donntu.edu.ua;
Гарбарук І.А., студент, магістр ilia.harbaruk.kita@donntu.edu.ua;
Дорогий Я.Ю., професор, yaroslav.dorohyi@donntu.edu.ua;
Алтухова Т.В., доцент, tetiana.altukhova@donntu.edu.ua
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Дрогобич, Україна

Критичною вимогою для функціонування сучасних автономних систем, зокрема БПЛА та наземних роботів, є здатність до надійної навігації в умовах відсутності або нестабільності сигналів GPS, наприклад внаслідок активної радіоелектронної боротьби (РЕБ). За таких умов, ключовими технологіями стають методи візуальної одометрії (VO) [1] та одночасної локалізації і картографування (SLAM) [2]. Однак традиційні геометричні підходи демонструють фундаментальну вразливість у динамічних середовищах. Базуючись на відстеженні низькорівневих ознак, вони не здатні семантично розрізнити стабільні об’єкти від рухомих, що генерують візуальний шум. Це призводить до хибних обмежень в оптимізації траєкторії та як наслідок до миттєвої втрати точності. Сучасним рішенням є глибока інтеграція семантичної інформації [3]. Використання семантичної сегментації дозволяє ідентифікувати та фільтрувати динамічні об’єкти, змушуючи VO спиратися виключно на стабільні семантичні класи. Це значно підвищує короткострокову стійкість. Тим не менш, вирішення короткострокової проблеми викриває глибшу, фундаментальну загрозу – довготривалу стабільність. При тривалій експлуатації семантична карта, що використовується для локалізації, починає неминуче деградувати. Ця деградація має дві основні причини: катастрофічне забування [4], притаманне системам безперервного навчання "відкритого світу" [5], та семантичний дрейф [6], що є наслідком поступового накопичення дрібних помилок розпізнавання. Існуючі методи оновлення карти часто не враховують ці ефекти. Таким чином для забезпечення справжньої довготривалої автономності недостатньо простої фільтрації динаміки, необхідна розробка нового механізму управління семантичною пам’яттю.

Відмова систем візуальної навігації відбувається на двох часових масштабах. На першому, миттєвому рівні, відбувається короткострокова відмова. Класичні геометричні методи, такі як ORB-SLAM [7], будують граф оптимізації на основі зіставлення візуальних ознак. Рухомий об’єкт, що займає значну частину кадру, генерує велику кількість таких ознак, які система помилково сприймає як статичні. Це створює помилкові топологічні обме-

ження у графі, що призводить до негайного збою в оцінці траєкторії. Застосування семантичного фільтра на основі глибинного навчання вирішує цю проблему: система накладає маску на апріорно динамічні класи і оцінка руху виконується виключно за статичними класами. Проте цей підхід, хоч і ефективний для миттєвої оцінки, функціонує "без пам'яті" і не надає механізмів для управління агрегацією семантичної інформації в глобальній карті з часом.

На другому накопичувальному рівні відбувається довготривала відмова через деградацію карти. Ця деградація має дві форми. По-перше, семантичний дрейф: жоден класифікатор не є ідеальним. Стабільний орієнтир через зміну умов може бути іноді класифікований невірно. Наївні методи оновлення карти, що усереднюють ймовірності або застосовують останнє спостереження, поступово "забруднюють" збережений орієнтир цими помилками, аж доки він не стане непридатним для локалізації. По-друге, катастрофічне забування: "системи відкритого світу", розроблені для вивчення нових об'єктів, стикаються з дилемою безперервного навчання. Навчаючись розпізнавати новий тимчасовий об'єкт, модель може "забути" знання про старий стабільний орієнтир [8]. Внаслідок обох процесів карта поступово втрачає свої найнадійніші орієнтири, які є критично важливими для механізмів замкнення циклу [9] для корекції накопиченого дрейфу одометрії.

Сучасні дослідження у сфері візуальної навігації активно розвиваються у напрямку підвищення стійкості систем у динамічних середовищах та забезпечення їх довготривалої стабільної роботи.

Дослідження [3] визначає поточний стан досліджень як перехід до "семантичного SLAM відкритого світу". Такі системи здатні розпізнавати та інтегрувати раніше невідомі категорії об'єктів, долаючи обмеження заздалегідь визначених класів. Водночас автори зазначають що ці передові підходи стикаються з новими фундаментальними викликами: високою обчислювальною складністю, семантичною неоднозначністю в складних 3D-сценах, а також проблемами "семантичного дрейфу" та "катастрофічного забування" при безперервному навчанні.

У статті [10] автори вирішують проблему короткострокової нестабільності візуальної одометрії в міських умовах. Запропоновано метод що інтегрує семантичну сегментацію для ідентифікації та подальшої фільтрації рухомих об'єктів, таких як автомобілі та пішоходи. Оцінка руху VO розраховується з використанням лише статичних частин сцени, таких як дорога та будівлі. Експериментальні результати підтверджують, що такий підхід забезпечує значне підвищення точності покрокової оцінки руху порівняно з класичними геометричними методами. Однак цей підхід не розглядає проблеми пов'язані з довготривалим накопиченням та оновленням семантичної інформації на карті.

Дослідження [11] фокусується саме на довготривалій роботі та оновленні карт у динамічних середовищах. Автори представляють алгоритм

"безпечного та надійного оновлення карти", який враховує невизначеність локалізації робота та тимчасові зміни в оточенні, зокрема присутність людей. Для розрізнення тимчасових змін від постійних використовується механізм "рухомого буфера" для кожної комірки карти. Проте, запропонований механізм є переважно часовим та імовірнісним, він ефективно відфільтровує короткочасний геометричний "шум", але не вирішує фундаментальну проблему семантичного дрейфу – поступової деградації карти через накопичення помилок семантичної класифікації.

У роботі [12] також представлено SLAM-систему, орієнтовану на довготривалу роботу в динамічних середовищах. В основі системи лежить підхід на базі графу поз (pose graph SLAM), де вузли містять локальні карти у вигляді 2D-хмар точок. Для боротьби зі зростаючою складністю карти при тривалій роботі, автори пропонують ефективну процедуру злиття та видалення застарілих вузлів графу. Але як і в дослідженні [11], цей метод зосереджений на геометричній та структурній узгодженості, а не на забезпеченні довготривалої семантичної коректності міток на карті.

Систематизація наявних досліджень дає змогу ідентифікувати прогалину в області забезпечення довготривалої семантичної стабільності. Існуючі методи ефективно вирішують або задачу короткострокової семантичної фільтрації динамічних об’єктів для VO, або задачу довготривалої структурної та геометричної оптимізації карти. Проте, фундаментальна проблема, явно визначена в дослідженні [3], а саме забезпечення довготривалої семантичної узгодженості та стабільності карти в умовах безперервного навчання та накопичення даних, залишається невирішеною. Попри значний прогрес у цій галузі, більшість відомих підходів не забезпечують достатньої стійкості до семантичного дрейфу та катастрофічного забування, що обмежує їхню придатність для систем "відкритого світу".

З огляду на виявлені обмеження існуючих методів, гіпотеза даного дослідження передбачає, що покадрові стратегії оновлення семантичних даних неминуче ведуть до накопичення помилок і деградації карти. Передбачається, що впровадження спеціалізованого механізму керування семантичною пам’яттю, який архітектурно розділяє процеси локальної оцінки руху та глобальної валідації і консолідації довготривалих семантичних орієнтирів забезпечить істотне зниження швидкості семантичного дрейфу та мінімізує ефект катастрофічного забування [12].

Висновки. Розроблення таких механізмів становить перспективний і водночас критично важливий напрям подальших досліджень, необхідний для формування автономних систем, здатних до стабільної довготривалої експлуатації у змінних умовах середовища. У межах цього напряму визначено подальший вектор досліджень, що охоплює побудову та експериментальну перевірку архітектури семантичного SLAM із механізмами компенсації семантичного дрейфу та катастрофічного забування для підвищення надійності навігації.

Література

1. Aqel, M. O. A., Marhaban, M. H., Saripan, M. I., & Ismail, N. B. (2016). Review of visual odometry: types, approaches, challenges, and applications. SpringerPlus, 5, 1897.

2. Khairuddin, A. R., Talib, M. S., & Haron, H. (2015). Review on simultaneous localization and mapping (SLAM). In 2015 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering.

3. Miao, L., Liu, W., & Deng, Z. (2025). A Frontier Review of Semantic SLAM Technologies Applied to the Open World. Sensors, 25(16), 4994.

4. Kirkpatrick, J., Pascanu, R., Rabinowitz, N., Veness, J., Desjardins, G., Rusu, A. A., & Hadsell, R. (2017). Overcoming catastrophic forgetting in neural networks. arXiv preprint arXiv:1612.00796.

5. Li, Y., Lai, G., Yang, X., Li, Y., Bonsangue, M., & Li, T. (2025). Exploring Open-world Continual Learning with Knowns-Unknowns Knowledge Transfer. arXiv preprint arXiv:2502.20124.

6. Yu, L., Twardowski, B., Liu, X., Herranz, L., Wang, K., Cheng, Y., van de Weijer, J. (2020). Semantic Drift Compensation for Class-Incremental Learning. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.

7. Mur-Artal, R., Montiel, J. M. M., & Tardós, J. D. (2015). ORB-LAM: a Versatile and Accurate Monocular SLAM System. IEEE Transactions on Robotics.

8. Bendale, A., & Boult, T. (2015). Towards Open World Recognition. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).

9. Xu, X., Guan, L., Zeng, J., Sun, Y., Gao, Y., & Li, Q. (2024). When-to-Loop: Enhanced Loop Closure for LiDAR SLAM in Urban Environments Based on SCAN CONTEXT. *Micromachines*, *15*, 1212.

10. An, L., Zhang, X., Gao, H., & Liu, Y. (2017). Semantic segmentation-aided visual odometry for urban autonomous driving. International Journal of Advanced Robotic Systems, 14(5).

11. Stefanini, E., Ciancolini, E., Settimi, A., & Pallottino, L. (2023). Safe and Robust Map Updating for Long-Term Operations in Dynamic Environments. Sensors, 23(13), 6066.

12. M. T. Lázaro, R. Capobianco and G. Grisetti, Efficient Long-term Mapping in Dynamic Environments, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Madrid, Spain, 2018, pp. 153-160, DOI: 10.1109/IROS.2018.8594310.

Анотація

Сучасні автономні системи, зокрема БПЛА та наземні роботи, потребують надійної навігації у середовищах зі слабким або відсутнім GPS, де ключовими стають методи візуальної одометрії та SLAM. Традиційні геометричні підходи виявляють фундаментальні обмеження у динамічних умовах, тоді як семантична інтеграція покращує короткострокову стійкість, проте не забезпечує довготривалої стабільності через семантичний дрейф і катастрофічне забування. Гіпотеза дослідження передбачає, що покадрові стратегії оновлення семантичних даних неминуче призводять до деградації карти, і вирішення цієї проблеми потребує спеціалізованого механізму керування семантичною пам’яттю. У межах цього напряму запропоновано побудову та експериментальну валідацію архітектури семантичного SLAM із механізмами компенсації дрейфу й забування, що забезпечує підвищену надійність навігації у довготривалих сценаріях.

Abstract

Modern autonomous systems, including UAVs and ground robots, require reliable navigation in environments with weak or absent GPS, where visual odometry (VO) and SLAM methods play a critical role. Traditional geometric approaches exhibit fundamental limitations

in dynamic environments, while semantic integration improves short-term robustness but does not ensure long-term stability due to semantic drift and catastrophic forgetting. The research hypothesis posits that frame-by-frame strategies for updating semantic data inevitably lead to map degradation, and addressing this problem requires a specialized semantic memory management mechanism. Within this framework, we propose the development and experimental validation of a semantic SLAM architecture with mechanisms for compensating drift and forgetting, providing enhanced navigation reliability in long-term operational scenarios.

Keywords: Visual odometry, UAV, machine vision, SLAM, Autonomous Navigation, Dynamic Environments.