

Міністерство освіти і науки України



**NURE**

Харківський національний університет  
радіоелектроніки

## **ЗБІРНИК**

**студентських наукових статей**

**«Автоматизація та приладобудування»**

**«Automation and Development of Electronic Devices»**

**ADED-2023**

(Випуск 2)

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>



<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafea.kdu.edu.ua>

Харків 2023

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(КІТАР)



## **ЗБІРНИК**

**студентських наукових статей**

**«Автоматизація та приладобудування»**

**«Automation and Development of Electronic Devices»**

**ADED-2023**

**(Випуск 2)**

**[електронне видання]**

Харків 2023

- Головий редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Цимбал Олександр Михайлович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Андрусевич Анатолій Олександрович**, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету  
**Косенко Віктор Васильович**, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».  
**Замірець Микола Васильович**, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.  
**Свищ Володимир Митрофанович**, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».  
**Фомовська Олена Владиславівна**, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.  
**Кухаренко Дмитро Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського  
**Демська Наталія Павлівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Фурманова Наталія Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».
- Відповідальний редактор:** **Євсєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 2. – 408с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 2 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023. – 408p with.

Рекомендовано рішенням  
Науково-технічної ради  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради  
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол № 4 від 30.11.2023

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2023 рік

## ЗМІСТ

<i>Я.І. Халімонов</i> Перспективи: Автоматизації вимірювання умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих рішень .....	9
<i>Є.Ю. Гавриков, А.Я. Осман</i> Дослідження технологій виробництва деталей на 3D принтері .....	12
<i>А.С. Андреев</i> QR-коди в науці та техніці .....	17
<i>Ф. Курпота</i> Development of Automated Environmental Control System for Portable Greenway Section .	23
<i>К.К. Стеценко</i> Моделювання BEAM-робота в середовищі TINKERCAD .....	27
<i>О.В. Удовиченко</i> Вплив розвитку штучного інтелекту на комп'ютеризовані та робототехнічні системи ..	30
<i>Б.О. Чеснаков</i> 3D моделювання роботизованої платформи для гуманітарного розмінуванні .....	33
<i>Є.В. Шевченко</i> Розробка кіберфізичної системи моніторингу технологічних процесів на виробництві .	37
<i>Є.О. Єфімік</i> Розроблення концепт макету малогабаритного мобільного робота підвищеної прохідності .....	44
<i>М. Манічкін</i> Аналіз кінематики та розробка моделі розрахунків елементів матриці гомогенних перетворень для зооморфного мобільного робота .....	49
<i>М.М. Моргунов</i> Розробка методу передачі інформації всередині статичного зображення для мобільних роботів .....	55
<i>Є.С. Ключник</i> Аналіз систем автоматизованого свердління у Industry 4.0 .....	61
<i>О.Д. Юрченко</i> Розроблення системи моніторингу роботи засобів виробництва та персоналу приладобудівного приміщення з використанням ESP32-CAM .....	66
<i>М.О. Бендеберя</i> Розробка алгоритмічно-функціональної моделі робота маніпулятора на базі ABB Robot Studio .....	74
<i>І.В. Балабанов</i> Визначення залежності часу та інтенсивності випромінювання на температуру фотополімерної смоли .....	79
<i>М.Д. Лисун</i> Аналіз кінематик 3D принтерів за технологією FDM/FFF .....	83
<i>С.В. Шматко</i> Аналіз сучасних роботів телеприсутності, як людського помічника .....	87
<i>І.С. Коваленко</i> Перспективи розвитку повітряної робототехніки .....	92
<i>М.С. Лубінець</i> Розроблення методу прокладення траєкторії руху робота-сапера на основі даних від металошукача .....	97

<i>О.О. Рак</i>	
Розробка автоматизованого модуля моніторингу параметрів об'єктів критичної інфраструктури .....	104
<i>О.І. Черненко</i>	
Автоматизація процесу сортування деталей на виробництві .....	109
<i>О.А. Тищенко</i>	
Моделювання пристрою позиціонування вантажного робота .....	114
<i>В.О. Веснянка</i>	
Розроблення інформаційної системи для оптимізації бізнес-процесів закладу харчування .....	121
<i>Ю.А. Бердник</i>	
Аналіз сучасних автономних роботизованих платформ .....	126
<i>М.В. Звєгінцев</i>	
Розробка модуля позиціонування сонячних панелей .....	133
<i>Д.Д. Лещенко</i>	
Моделювання руху маніпулятора робота з використанням динамічної ланки з прямою та зворотною кінематикою .....	138
<i>П.М. Савченко</i>	
Огляд датчиків положення для обладнання, що працює в умовах аварійних відключень електроживлення .....	142
<i>П.М. Савченко</i>	
Створення сучасних систем управління з застосуванням мікропроцесорної техніки та засобів автоматизації .....	148
<i>Є.Р. Васильченко</i>	
Огляд принципів побудови пожежно-охоронної системи .....	153
<i>А.Д. Єчевський</i>	
Система моніторингу та управління параметрами мікроклімату в офісних приміщеннях .....	159
<i>А.І. Конєва</i>	
Перспективи розвитку безпілотних систем .....	164
<i>В.І. Фомін</i>	
Використання робототехнічних систем з елементами штучного інтелекту в приладобудуванні .....	171
<i>В.І. Фомін</i>	
Застосування 3D-друку у виробництві та промисловості .....	177
<i>О.В. Чернишенко</i>	
Оптимізація маршрутів в логістичних мережах виробничого процесу .....	182
<i>Р.Р. Шаталюк</i>	
Використання віртуальної та доповненої реальності для навчання та симуляцій у робототехніці .....	188
<i>Р.Р. Шаталюк</i>	
Програмування мікроконтролерів для автоматизації систем .....	193
<i>Т.А. Лихо</i>	
Вибір обладнання для розробки мобільного робота для відеонагляду .....	197
<i>В.О. Александров</i>	
Безпілотні літальні апарати. види, технічні особливості, автоматизація .....	203
<i>С.О. Вінниченко</i>	
Еволюція виробництва: Роль MES-системи у оптимізації та контролі промислових .....	208

процесів на підприємстві .....	
<i>А.В. Готовська</i>	
Підтримка прийняття рішень в технології проєктування роботизованого виробничого процесу .....	213
<i>Я.В. Олінкевич</i>	
Впровадження еgr-системи на виробництві .....	219
<i>М. Коваленко</i>	
Схема керування транспортними роботами на основі візуальних ознак .....	223
<i>В.К. Маковецька</i>	
Контейнеризація та оркестрація: DOCKER та KUBERNETES .....	228
<i>Д.Р. Придятько</i>	
Огляд методів розпізнавання об'єктів за допомогою систем технічного зору .....	234
<i>А.А. Большаков</i>	
Розроблення архітектури SCADA-системи гнучкого виробництва та вибір апаратних засобів .....	239
<i>В.С. Головіна</i>	
Розроблення системи керування мобільним пошуково-рятувальним роботом .....	244
<i>Д.В. Мілько</i>	
Дослідження програмного методу визначення відстані до об'єкту за допомогою параметрів камери .....	250
<i>І.А. Манякін</i>	
Аналіз методів автоматичного розпізнавання осіб .....	254
<i>Ю.С. Візір</i>	
Автоматичне енергоефективне управління освітленістю з використанням кіберфізичних підходів в умовах виробництва .....	259
<i>В.І. Дульський</i>	
Методи оптимізації керуючих програм для верстатів з ЧПУ .....	264
<i>М.С. Карпов</i>	
Використання бездротових мереж для організації контролю в промисловості .....	269
<i>М.А. Пісклов</i>	
Алгоритми створення та оптимізації розкладу для загальноосвітніх навчальних закладів .....	275
<i>А.Ю. Губарь</i>	
Веб-додаток для моніторингу та управління запасами в 3D-друкарні .....	281
<i>І.А. Поддубняк</i>	
Аналіз сучасних візуальних SLAM систем в робототехніці .....	286
<i>Д.П. Редько</i>	
Технології транспортування вибухонебезпечних предметів за допомогою роботизованого пристрою .....	292
<i>В.О. Заїкін</i>	
Роботизовані системи та їх застосування у інноваційних методах виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів .....	296
<i>К.О. Вадурін, А.С. Шандро</i>	
Розробка структури інформаційно-аналітичної система для збору, обробки та аналізу даних щодо використання енергетичних ресурсів багатоповерховою будівлею .....	302
<i>Є.М. Грищенко</i>	
Аналіз систем контролю виготовлення 3D деталей на потоковому роботизованому виробництві .....	309

<i>В.А. Савін</i>	
Класифікація роботизованих систем для пошуку вибухонебезпечних предметів .....	319
<i>М. Збітнєв</i>	
Аналіз мобільних робототехнічних платформ для гуманітарного розмінування .....	329
<i>В.А. Сторожук В.А., М.А. Вісковатов</i>	
Розробка інтелектуального модуля для моніторингу параметрів на базі ІоТ .....	334
<i>М.В. Толстий</i>	
Аналіз методів намотування дротів на станках з ЧПУ у роботизованому виробництві .	340
<i>В.В. Цешевський</i>	
Огляд сучасних конструктивних схем роботів для переміщення сходами .....	354
<i>О.О. Зибенко</i>	
Інновації та досягнення в електророзробній обробці: формування комп'ютерно-інтегрованого виробництва .....	356
<i>К.О. Левченко</i>	
Моделювання автоматизованого комплексу безтарного сховища сировини .....	361
<i>О.Д. Нікулін</i>	
Конвеєрні технології та автоматизація у аддаитивному виробництві .....	364
<i>Д.В. Пархоменко</i>	
Аналіз систем інжекції з'єднувальної речовини у технології 3D друку 3DP .....	370
<i>К.Є. Скрипник</i>	
Моделювання та розрахунок дозування пластику у шнековому екструдері .....	374
<i>С.Ю. Мірошніченко</i>	
Автоматизована система управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів	381
<i>В.Є. Тараненко</i>	
технологія екструзійного 3D друк без підтримок .....	386
<i>Є.О. Зуєв, М.Ю. Лучанінов</i>	
Дослідження методів автономного позиціонування та навігації робототехнічних мобільних платформ .....	390
<i>О.С. Пащенко, К.О. Зозуля</i>	
Сучасне виробництво з використанням комп'ютерного управління та інформаційних технологій .....	394
<i>Є.Г. Федосєєв</i>	
Аналіз методів імітаційного моделювання технологічних процесів складання .....	401
<i>К.С. Редькін</i>	
Локальна навігація мобільного робота в приміщенні .....	404

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ВІЗУАЛЬНИХ SLAM СИСТЕМ В РОБОТОТЕХНІЦІ

### І.А. Поддубняк

Харківський національний університет радіоелектроніки  
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14  
E-mail: illia.poddubniak@nure.ua

**Анотація:** У даній статті проаналізовані та описані сучасні методи візуальної одночасної локалізації та картографування – V-SLAM. В результаті були окреслені основні принципи та критерії V-SLAM та сучасні методи й впровадження функцій V-SLAM. Аналіз надає специфічні уявлення про напрями розробки, обмеження та можливості V-SLAM для робототехнічних систем.

**Ключові слова:** робототехніка, комп'ютерний зір, SLAM, V-SLAM, картографування.

## ANALYSIS OF MODERN VISUAL SLAM SYSTEMS IN ROBOTICS

### I. Poddubniak

Kharkiv National University of Radio Electronics  
Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14  
E-mail: illia.poddubniak@nure.ua

**Annotation:** This article analyzes and describes modern methods of visual simultaneous localization and mapping - V-SLAM. As a result, the main principles and criteria of V-SLAM and modern methods and implementation of the V-SLAM function were defined. The analysis provides distinct findings about the directions of developments, capabilities and limitations of V-SLAM for robotic systems.

**Key words:** robotics, computer vision, SLAM, V-SLAM, mapping.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Щоб функціонувати по принципах безпечного та ефективного планування та прийняття рішень, автоматизовані й автономні робототехнічні системи потребують доступ до узгодженої моделі навколишнього середовища. Для задоволення цієї потреби, робот повинен мати здатність створювати карту навколишнього середовища, локалізувати себе на ній та контролювати власний рух відносно створеній мапі. Цим вимогам відповідає загальний метод одночасної локалізації та відображення (SLAM). Як систему рішень в сучасній робототехнічній та інтелектуальній індустрії SLAM, можна використовувати для різних систем та різних вимог – як у приміщенні, так і на відкритому повітрі. Використання може варіюватися від операцій роботів у ситуаціях стихійного лиха до розумного виробництва в промислових умовах, де важко орієнтуватися.

Серед інших типів, візуальний SLAM (V-SLAM) має особливе значення, оскільки він пропонує такі впровадження, що дозволяють роботизованим системам використовувати унікальні та зручні техніки SLAM з камер та, для конструкції роботів, потенційно мінімізувати витрати, габарити, масу та складність, що пов'язані з використанням кількох інших сенсорів одночасно [1].

Ця робота спрямована на огляд поточного стану розробок візуальних SLAM-систем для роботів. Створений аналіз описує особливості та різновиди принципів та технік V-SLAM, що використовуються дослідниками та розробниками у сучасності.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Матеріали, що використані для досліджень у цій роботі – академічні публікації з галузі.

Щоб зрозуміти V-SLAM, важливо спочатку окреслити його характеристики по відношенню до загальних концепцій SLAM.

Для забезпечення точної локалізації та картографування, алгоритми SLAM повинні адаптуватися до нових змін, зберігаючи старі стани. Карта також має пристосовуватися до змін навколишнього середовища, але не рости нескінченно – її розмір має залежати лише від території, що досліджується. SLAM можна використовувати в широкому діапазоні додатків, таких як повітряні та підводні мобільні роботи, автономні транспортні засоби, дрони, та може бути визначений як такий, що складається з двох основних частин [2]:

- побудова карти невідомого зовнішнього чи внутрішнього середовища;
- одночасне відстеження положення або переміщення датчиків і камери (що встановлені на мобільній системі) через різні позиції та різний час у цьому середовищі.

Для отримання даних, у SLAM використовуються датчики одометрії (оцінка власного переміщення з колісних, візуальних, інерційних, лазерних або комбінацій різних одометричних джерел), датчики зору, лазери (2D/3D), радар, сонар, гіроскопи, акселерометри та GPS.

Категорія датчиків зору охоплює будь-яку різноманітність приймачів першоджерельних візуальних даних, включаючи монокулярні камери, стереокамери, камери на основі подій, інфрачервоні камери, всенаправлені камери та триколіорові камери глибини (RGB-D). Робот із датчиком зору використовує візуальні дані, надані камерами, щоб оцінити свої положення й орієнтацію щодо власного оточення.

У сучасності, у SLAM входить декілька груп напрямків розпізнавання рис середовища [3]:

- візуальні ознаки: ознаки, отримані із зображень камери, наприклад ознаки згорткової нейронної мережі (CNN) із глибоких нейронних мереж, ознаки, що створені «вручну» (програмно, без нейронних мереж) ознаки, як-от SIFT (масштабно-інваріантне перетворення ознак), SURF (прискорені надійні ознаки), HOG (гістограма орієнтованих градієнтів);
- ознаки LiDAR/лазера: ознаки, що отримані з 3D-хмари точок або 2D-лазерного сканування, такі як дескриптори точок і гістограми;
- семантичні ознаки: ознаки, що представляють семантичні об'єкти або класи, сегментовані або виявлені на зображеннях чи хмарах точок, наприклад стовпи, дерева, будівлі;
- об'єднання кількох датчиків: поєднання ознак з різних датчиків, таких як камери, LiDAR, радар, для використання сильних сторін кожного з них (наприклад, поєднання камер та датчиків дальності для виявлення візуальних і глибинних ознак місцевості);
- стабільність ознак: означає, наскільки добре отримані візуальні або інші ознаки місцевості можна надійно виявляти та зіставляти протягом тривалого періоду часу в мінливих середовищах.

Загальний алгоритм послідовності техніки для будь-якого SLAM – це збір даних з датчиків, вилучення ознак із зображень, зіставлення ознак, оцінка пози, замикання циклів та створення мапи – детальніше це зображено на рис. 1 [4].

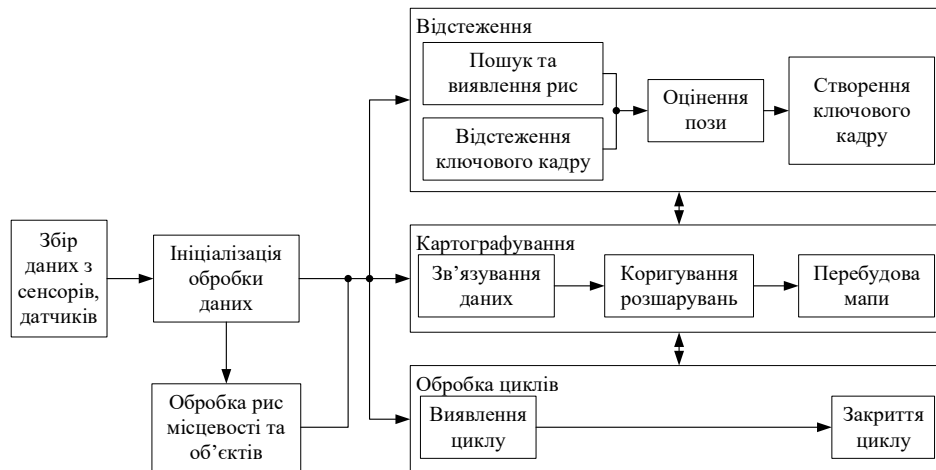


Рис. 1 – Принципова схема алгоритму SLAM

Фундаментальна класифікація алгоритмів, що використовуються у V-SLAM, полягає в тому, як дослідники використовують різні методи та стратегії в кожному потоці. Рішення поділяються на прямі та непрямі:

- непрямі методи виділяють ознаки (тобто ключові точки), отримані з текстур шляхом обробки сцени та відстеження їх шляхом зіставлення їхніх дескрипторів у послідовних кадрах. Незважаючи на дорогу обчислювальну продуктивність етапів виділення ознак і зіставлення, ці методи є точними та стійкими до фотометричних змін інтенсивності кадру;

- прямі методи, з іншого боку, оцінюють рух камери безпосередньо з даних на рівні пікселів і створюють задачу оптимізації для мінімізації фотометричної похибки. Покладаючись на фотограмметрію, ці методи використовують усі вихідні пікселі камери та відстежують їх заміну в послідовних кадрах щодо їхніх обмежених аспектів, таких як яскравість і колір. Ці характеристики дозволяють використовувати прямі підходи для моделювання більшої кількості інформації із зображень, ніж непрямі методи, і забезпечують більш точну 3D-реконструкцію.

У той час як прямі методи працюють краще в середовищах без текстур і не вимагають більше обчислень для виділення ознак, вони часто стикаються з проблемами великомасштабної оптимізації, а різні умови незвичайного освітлення негативно впливають на їх точність (хоча це легко виправляти завдяки використанню інфрачервоних камер чи джерел освітлення у системі робота). Плюси і мінуси кожного підходу спонукали дослідників задуматися про розробку гібридних рішень, де розглядається поєднання обох підходів. Змішані методи зазвичай об'єднують етап виявлення непрямого та прямого виявлення, у якому один ініціалізує та коригує інший.

Типова система V-SLAM включає в себе програмне забезпечення зі спареним методом візуальної одометрії (VO) для оцінки шляху камери та обчислювальну частину SLAM для оптимізації створеної карти – на такій основі існує багато варіацій реалізації V-SLAM. Варто й зазначити різницю між V-SLAM і VO – останній не працює зі сконструйованою глобальною картою та не працює з алгоритмами прогнозування або траєкторії, VO тільки надає попередню оцінку розташування та поз робота на основі локальних стабільних ознак, які надсилаються на обчислення для оптимізації. Деякі найсучасніші додатки V-SLAM також включають два додаткові модулі: виявлення замикання циклу та картографування – вони відповідають за розпізнавання раніше відвіданих місць для більш точного відстеження та реконструкції карти на основі пози камери.

Протягом останніх років, різні дослідники та розробники запропонували свої підходи та внески щодо методів і налаштувань V-SLAM, деякі з яких є спільними з іншими методами SLAM [5-8].

Підходи до мультисенсорної обробки:

- використання кількох камер – оскільки може бути важко відтворити тривимірні траєкторії рухомих об'єктів за допомогою однієї камери, деякі дослідники пропонують замість цього використовувати кілька камер. Перекриття оглядів камери полегшує перебудову динамічних точок у 3D шляхом змішування оцінки пози всередині та між камерами та відображення. Крім того, ефективність системи V-SLAM у складних умовах покращується завдяки незалежності від камери, що усуває загальні перешкоди від відхилень у оклюзії та розрідженості текстури. Деякі методи передбачають перетворення зображень кількох камер із ширококутовими об'єктивами типу «риб'яче око» на ключові кадри для подальшої швидкої, але ресурсозатратної, обробки;

- мультимодальні датчики – деякі підходи поєднують різні модальності датчиків і об'єднують виходи датчиків на основі бачення та інерції для кращої продуктивності, поєднуючи дані з карт глибини LiDAR і RGB-зображень камер. Різноманітність типів вхідних даних можна розширити інтеграцією радарів, гіроскопів, акселерометрів тощо.

Підходи до оцінювання пози:

- оцінювання за даними ліній/точок – процес побудови структурних ліній як корисних ознак для визначення пози камери. Структурні лінії пов'язані з домінуючими напрямками та кодують інформацію про глобальну орієнтацію, що призводить до покращених прогнозованих траєкторій. Одна з відмінних реалізацій точково-лінійного SLAM – це система, яка одночасно об'єднує лінійні та точкові ознаки для покращеної оцінки позиції, що допомагає системі SLAM працювати в ситуаціях з невеликою кількістю точок ознак – недоліком є висока обчислювальна вартість і залежність від використання відносно складні геометричні примітиви;

- оцінювання за комплексними ознаками – деякі методи пропонують оцінки положення шести вільностей свободи, які можна виконати шляхом дорогої обчислювальної обробки хмари точок камер стереозору та карт оптичного потоку, а також відтворення великомасштабних карт внутрішнього середовища шляхом використання розміщення та розпізнавання кількох штучні маркери або орієнтири в системі комп'ютерного зору.

Підходи до забезпечення точності відносно реального середовища:

- відокремлення особливостей місцевості та врахування різних джерел датчиків (наприклад, поєднань камер з LiDAR та радарями) можуть підвищити стійкість до змін зовнішності в навколишньому середовищі:

- методи динамічних місцевостей дозволяють будувати карти з динамічних середовищ. Найпоширеніший підхід – розрізнення статичних, динамічних і напівстатичних змін у сприйманому середовищі з використанням лише статичних постійних змін для локалізації для підвищення надійності оцінювача пози. Деякі використовують п'ятипоточковий процес, що паралельно поєднує відстеження, семантичну сегментацію, локальне відображення, закриття циклу та побудову щільної семантичної карти. Інші відомі методи – сортування значень оптичного потоку для використання їх для розпізнавання ознак і реконструкція карти середовища з використанням мережевих даних семантичної сегментації, техніки виявлення узгодженості руху та геометричних обмежень.

Підходи з обмеженням використання ресурсів:

- обмежені можливості обробки – певні системи V-SLAM, що розроблені для мобільних пристроїв і пристроїв з обмеженими ресурсами, використовують налаштування стереокамери,

використовують модулі відносного розшарування ознак середовища або поєднують виявлення геометричних даних та методів виявлення об'єктів із візуальною одометрією;

– розвантаження обчислень – практика, яка використовує розвантаження складних операцій SLAM в спільну хмарі дистанційно-з'єднаних комп'ютерів, що допомагає зробити роботизовану систему більш компактною, енергоефективною та легкою.

Ці методи спільно сприяють розвитку довгострокової локалізації та картографічних можливостей мобільних роботів шляхом усунення дисперсії візуальних даних, усунення динамічних елементів з аналізу, впровадження точності представлення мапи та узгодження паралельних операцій. Кінцевим результатом впровадження будь-якого з них є можливість роботів адаптуватися до мінливого середовища, підтримувати точні карти та ефективно орієнтуватися в середовищі протягом тривалого часу.

Важливо також підкреслити, що більшість із підходів сумісні з використанням машинного навчання та нейронних мереж, які пропонують універсальні та адаптовані обчислення, що необхідні для швидких та точних виявлення ознак і відображення середовища. Наприклад, створення ознак-описів на основі CNN є більш точними щодо деталей порівняно з програмним створенням ознак-описів середовища.

**ВИСНОВКИ.** Отже, на основі даних досліджень, можна зробити висновок, що, в той час як системи V-SLAM дозволяють тримати роботизовані системи спрощеними щодо вартості апаратного забезпечення, розміру та маси, методи цих систем потребують спеціального програмування та технік обробки даних. Труднощі, з якими стикається SLAM з камер, можна вирішити за допомогою незначних апаратних і основних програмних реалізацій (таких як використання інфрачервоних камер та/або додаткових джерел світла для роботи з неправильним освітленням і динамічними змінами навколишнього середовища). На даний момент, оскільки методи V-SLAM ще не вдосконалені, більшість методів V-SLAM інтегровані в мультисенсорні системи SLAM замість того, щоб бути самі по собі. Крім того, навіть у категорії V-SLAM не існує найкращого універсального підходу, який можна застосувати для будь-якого випадку – деякі методи потребують більших обчислювальних ресурсів, а інші залежать від простоти сканування навколишнього середовища чи від дистанційного зв'язку з хмарою комп'ютерів для обчислень. З розвитком методів та технік V-SLAM, недоліки деяких методів можуть бути мінімізовані, що може дозволити як використовувати їх виключно з камерами, так й легко впроваджувати їх у будь-яку мультисенсорну SLAM систему без значних модифікацій.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. I. Abaspur Kazerouni, L. Fitzgerald, G. Dooly, and D. Toal, "A survey of state-of-the-art on visual SLAM," *Expert Systems with Applications*, vol. 205, p. 117734, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117734>.
2. R. B. Sousa, H. M. Sobreira, and A. Moreira, "A Systematic Literature Review on Long-Term Localization and Mapping for Mobile Robots," *Authorea (Authorea)*, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.22541/au.166739295.55264285/v1>.
3. M. F. Ahmed, K. Masood, V. Fremont, and I. Fantoni, "Active SLAM: A Review on Last Decade," *Sensors*, vol. 23, no. 19, p. 8097, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23198097>.
4. A. Tourani, H. Bavle, J. L. Sanchez-Lopez, and H. Voos, "Visual SLAM: What Are the Current Trends and What to Expect?," *Sensors*, vol. 22, no. 23, p. 9297, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22239297>.
5. J. A. Placed et al., "A Survey on Active Simultaneous Localization and Mapping: State of the Art and New Frontiers," *arXiv (Cornell University)*, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2207.00254>.

6. W. Chen et al., “Overview of Multi-Robot Collaborative SLAM from the Perspective of Data Fusion,” *Machines*, vol. 11, no. 6, pp. 653–653, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/machines11060653>.

7. C. Campos, R. Elvira, J. J. G. Rodriguez, J. M. M. Montiel, and J. D. Tardos, “ORB-SLAM3: An Accurate Open-Source Library for Visual, Visual–Inertial, and Multimap SLAM,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 37, no. 6, pp. 1–17, 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/tro.2021.3075644>.

8. Q. Zang, K. Zhang, L. Wang, and L. Wu, “An Adaptive ORB-SLAM3 System for Outdoor Dynamic Environments,” *Sensors*, vol. 23, no. 3, p. 1359, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23031359>.

*Науковий керівник: Цимбал Олександр Михайлович, доцент кафедри КІТАМ, Харківського національного університету радіоелектроніки*