



УДК 62-5

NAVIGATION SYSTEMS AND THEIR PLACE IN THE MOBILE ROBOT CONTROL SYSTEM

СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ ТА ЇХ МІСЦЕ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМИ РОБОТОМ

Nazarenko N.M. / Назаренко Н.М.

k.t.s., as. / к.т.н., асистент.

ORCID: 0000-0001-6533-7323

Zayets S.S / Заєць С.С.

as. / асистент.

Kyrychuk Y.V. / Киричук Ю.В.

d.t.s., as.prof. / д.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8638-6060

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, 37, Prosp. Peremohy, 03056*

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського", Київ, пр.Перемоги, 37, 03056*

Анотація. В роботі розглядається архітектура навігаційної системи мобільного робота. Розглядається дві моделі сканування простору та визначення координат об'єктів навколишнього простору.

Ключові слова: робототехніка, навігаційний комплекс, мобільний робот.

Вступ.

Сучасна робототехніка почала бурхливий розвиток у 1970-х роках. У той час з'явилися перші моделі, які ефективно виконували функції людини.

З часом з'явилися адаптивні роботизовані системи - мобільні роботи на платформі нового покоління. Розширені налаштування можуть розрахувати оптимальний маршрут руху та вносити корекції в маршрут руху [1-2].

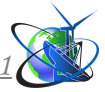
Основний текст.

Мобільні роботи з автономними системами навігації могли пересуватися в просторі завдяки встановленим скануючим датчикам. Спеціальна комп'ютерна техніка отримувала сигнали, за якими вирішувалося, як слідувати маршруту. Навігаційна система виконувала роль координатора руху. Згодом з'явилися більш сучасні роботизовані системи навігації, що використовують модернізовані датчики, гіроскопи, супутникову навігацію, лазери та ультразвукові пристрої [1-2].

Основними видами автономної навігації є:

- місцевого призначення, здійснює фіксацію координат за встановленими параметрами, виконує визначення функції в межах попередньо відомої зони;
- глобальний тип, визначає абсолютні координати робота при русі робота по великій поверхні;
- особистісний тип, позиціонування здійснюється відносно найближчих предметів.

Автономна навігація мобільних роботів є одним із ключових завдань мобільної робототехніки: за визначенням, мобільний робот повинен



пересуватися в просторі. Розробники, дослідники та користувачі цих ботів хочуть, щоб навігація була автоматичною [1-7]. Звичайно, це не завжди необхідно. Але, наприклад, якщо це масштабна пошуково-рятувальна операція, коли працюють десятки, а то й сотні дронів. Знайти сотню кваліфікованих спеціалістів, які могли б одночасно керувати дронами в режимі реального часу, проблематично.

Половина наукових робіт з робототехніки пов'язані з проблемами навігації. Іноді тематика наукових робіт і досліджень на перший погляд не має нічого спільного з навігацією, наприклад, з розпізнаванням пішохода на дорозі. Безпілотній системі потрібно розпізнавати пішоходів на відео. При виявленні пішохода необхідно налаштувати алгоритми навігації.

Можна виділити чотири основні класи завдань навігації: картографування, локалізація, планування та відстеження траєкторії. Локалізація – це завдання, яке формується так: у нас є мобільний робот, ми знаємо карту навколишнього простору, але ми не знаємо, де знаходиться робот. Мобільний робот також має радар, лазерні далекоміри та відеокамери. Використовуючи інформацію, отриману від цих датчиків, робот повинен визначити своє положення, зіставивши отримані дані з відомою картою. Якщо цю задачу розв'язати за певний проміжок часу, ми отримаємо слід точок – траєкторію руху.

Протилежною проблемою є картографування, коли, з іншого боку, ми знаємо своє положення у світовій системі координат, наприклад, за допомогою GPS. Локалізація не потрібна, але про середовище нічого не відомо. Необхідно побудувати модель навколишнього середовища за допомогою тих же датчиків, які використовувалися для локалізації. Нанести на карту всі об'єкти навколишнього середовища, бажано з абсолютними розмірами, щоб були відомі розміри та відстані.

Найважче, коли ці завдання поєднуються. Бувають ситуації, коли ми не маємо точного місцезнаходження чи карти місцевості. Прикладом такої ситуації є робот, який виконує пошукову дію в зруйнованій будівлі, йому потрібно знайти людей у зруйнованій будівлі. Система GPS в бетонному шарі не працює, карти будівлі або немає, або вже не актуальна через руйнування. Цю проблему вирішує клас алгоритмів, які називаються реактивними алгоритмами. У цьому випадку слід враховувати відсутність карти, ми рухаємося по прямій і обходимо перешкоди. Однак такий спосіб пересування буде недостатньо ефективним, тому необхідні локалізація, картографування та планування. Треба вирішити питання картографування та локалізації – на англ. це *simultaneous localization and mapping (SLAM)*, приклад побудови карти на основі SLAM на рис. 1.

Найактуальнішим напрямком є завдання SLAM в контексті відеопотоку, так звані - *visual-based simultaneous localization and mapping* - одночасне відображення і локалізація за відеопотоком, коли у нас є тільки камери від датчиків, які повинні використовуватися для створення моделі світу, щоб зрозуміти, де ми знаходимося і як рухатися (рис. 2). На великий автомобіль можна встановити багато різних датчиків, оскільки він великий і може нести велику вагу. Для невеликих безпілотників використання великих комплексів



неможливо, а найкращим варіантом є використання маленьких енергоефективних камер. Друга причина, чому завдання аналізу відеосигналу цікаве, полягає в тому, що людина сприймає багато інформації за допомогою зору.

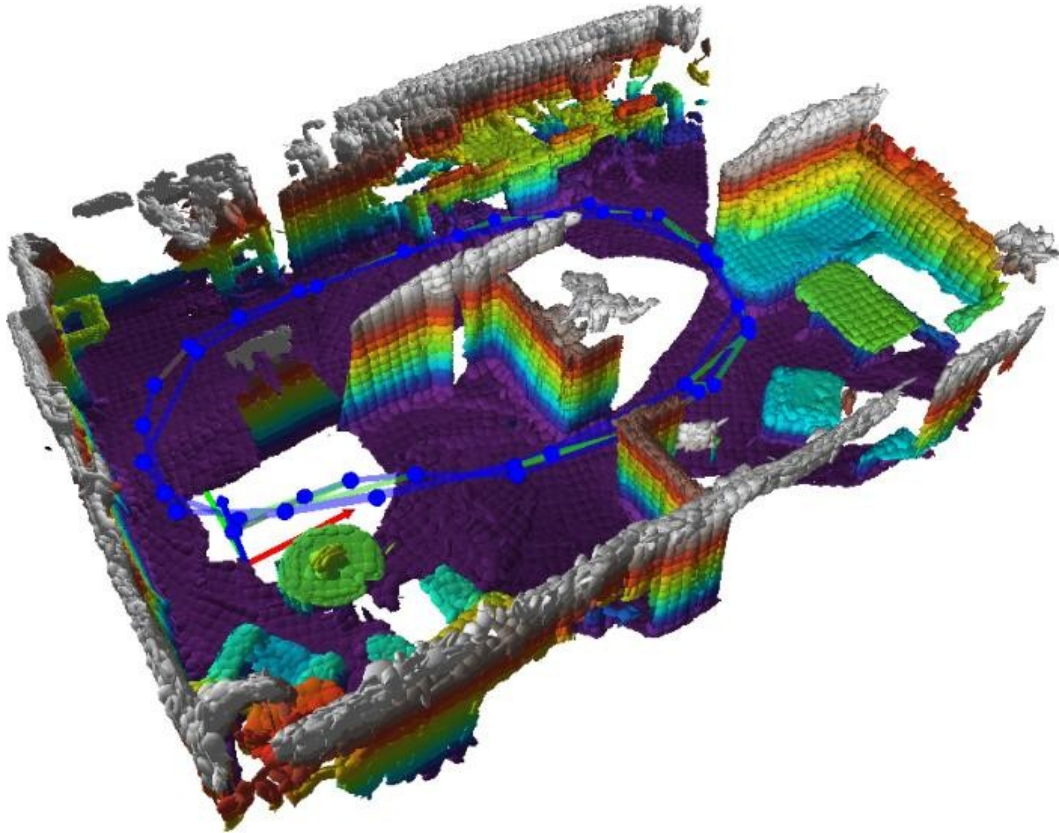


Рис. 1. Приклад моделі кімнати побудованої по SLAM з прокладеним маршрутом

Іншим класом задач є задачі планування траєкторії. Дивимося на карту зверху, на карті є заштриховані перешкоди. Усе інше — чистий аркуш, простір, яким можна пройти. Нам потрібно побудувати пряму, яка сполучає дві точки. Зазвичай завдання зводиться до завдання знайти шлях по графу. Нескінченний вільний простір має нескінченну кількість точок. Спочатку ми створюємо його дискретну модель: накладаючи опорні точки. Їх вже є кінцева кількість. Відповідно до певних алгоритмів деякі з цих точок потім з'єднуються лініями так, щоб вони не торкалися заштрихованих областей. Отримуємо графік можливостей потрапити з однієї точки в іншу (рис. 3). Наше завдання — знайти маршрут, який за заданими критеріями підійде нам більше за всі інші.

Алгоритм ускладнюється в залежності від умов. Описаний більш простий приклад, можуть виникнути ускладнення: тривимірний простір, наявність динамічних об'єктів.

Побудувавши маршрут стеження, необхідно, щоб мобільний робот рухався по ньому. Четвертий блок задач йде по траєкторії. Плануючи траєкторію, вони не думали про те, як має виглядати ця лінія, наприклад, можна було зробити поворот на кут 90° . Якщо це гелікоптер, не біда. Але якщо це машина, то вона не може розвернутися на 90° на місці.

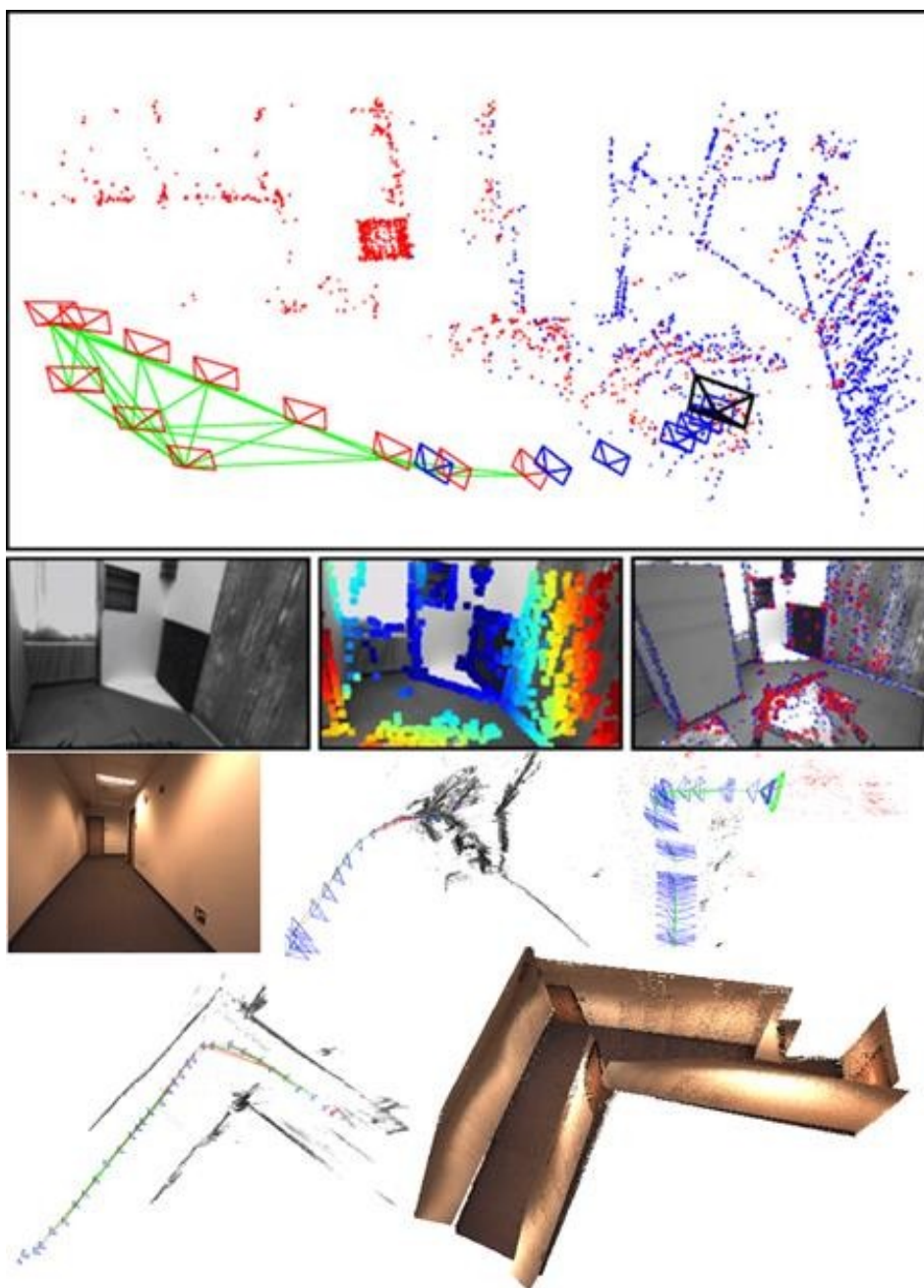


Рис. 2. Приклад SLAM на основі відео потоку

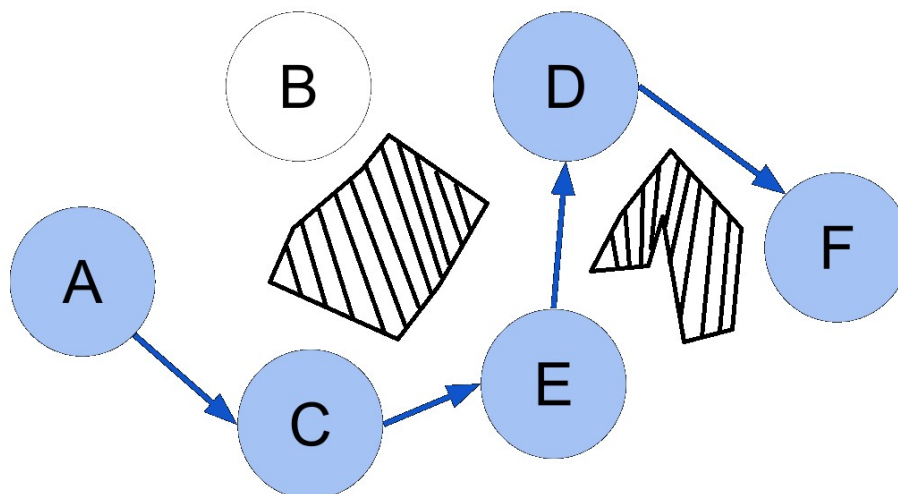


Рис. 3. Побудова маршруту по графам



Тому необхідно ускладнити задачу прокладки маршруту або вирішити задачу відстеження маршруту. Завдання стеження використовуються для відстеження маршруту з урахуванням особливостей руху рухомого об'єкта з мінімальними відхиленнями від траєкторії. Якщо відхилення буде більше заданого значення, маршрут буде перебудовано. Відстеження зазвичай розглядається з використанням теорії систем автоматизованого управління (САУ).

В рамках досліджень була розроблена мобільна роботизована навігаційна система на основі скануючого далекоміра.

Для впровадження скануючих пристроїв було обрано ультразвукову технологію вимірювання відстані, тому що ця технологія є найменш розвиненою та є потенційно недослідженою та перспективною для вдосконалення та інновацій.

На основі цього було розроблено дві моделі сканування простору та визначення координат об'єктів у навколишньому просторі. Перша з них – це система з ротаційним ультразвуковим модулем. Після впровадження і тестування можна з упевненістю сказати, що дана модель працездатна і може бути встановлена на мобільних платформах для сканування навколишнього простору. Успішне використання можливе за умови вдосконалення компонентів, з яких зібраний прототип, оскільки в процесі тестування було виявлено, що ультразвуковий модуль HC-SR04 має недостатні показники точності, що згодом призводить до похибки вимірювання в діапазоні від 1 см до 5 см. Сервоприводи також потребують вдосконалення, оскільки їх роздільна здатність обмежена, а пластиковий редуктор не може забезпечити достатньої жорсткості. Зробивши ці поліпшення, можна збільшити швидкість сканування, що є головним недоліком цієї моделі.

Другою представленою моделлю стала система зі статичними датчиками положення, яка виявилася значно кращою за точністю вимірювання координат об'єктів, але має ряд критичних особливостей. Ця модель не може створити тривимірний простір, визначити розміри об'єкта і визначити кілька об'єктів, але вона має високу точність вимірювання, похибка цієї системи становить від 0,5 см до 1,5 см.

За наявності низки удосконалень ці проблеми можна частково вирішити, наприклад, шляхом збільшення кількості сенсорних модулів, що призведе до сегментації зон зондування та, як наслідок, можливості ідентифікації більшої кількості об'єктів у просторі. Або як альтернатива створити поворотну основу для датчиків, завдяки якій можна переміщати зону чутливості, в результаті чого також створюється сегментація зони чутливості.

Незалежно від можливих модифікацій дана система придатна для встановлення на мобільних платформах як система оповіщення про найближчу до мобільної платформи перешкоду і здатну визначати координати об'єкта в просторі з точністю до декількох сантиметрів.

У цих технологіях розроблено метод тріангуляції для використання при вирішенні задач, які дозволяють швидко і з високою точністю знаходити координати динамічного об'єкта в просторі мобільної платформи (робота).

Абсолютною перевагою є поєднання цих систем на мобільних платформах



для досягнення найкращих результатів у просторовій навігації.

Висновки.

Розглянуто архітектуру навігаційної системи мобільного робота та принципи проектування, що використовуються в апаратному та програмному забезпеченні.

Запропоновано дві системи: систему просторового сканування на основі ультразвукового датчика з обертовою системою для орієнтації датчика та скануючу систему для визначення координат об'єкта. Описано принципи роботи обох схем та наведено переваги та недоліки представлених систем.

Література:

1. Безвесільна О.М. Системи керування навігаційних систем рухомих об'єктів/ О.М. Безвесільна, Ю.В. Киричук, С.С. Ткаченко //Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – 174 с.

2. Безвесільна О.М. Системи керування навігаційних систем рухомих об'єктів/ О.М. Безвесільна, Ю.В. Киричук, С.С. Ткаченко //Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – 174 с.

3. Моспан А. Визначення орієнтації рухомих об'єктів за допомогою датчиків MEMS/ Моспан А., Киричук Ю., Назаренко Н. // IV International Scientific and Practical Conference «Modern directions of development of science and technology», January 30 – February 01, Liverpool, Great Britain. 2023. Pp. 259-261 с.

4. Киричук Ю. Проблематика навігаційних систем на базі мікромеханічних чутливих елементів/ Киричук Ю., Назаренко Н. // 4th International scientific and practical conference “Actual problems of modern science” (January 31 – February 3, 2023) Boston, USA. International Science Group. 2023. Pp. 454-456 с. DOI: 10.46299/ISG.2023.1.4

5. Киричук Ю.В. Основні функції робота / Ю.В. Киричук, Ю.Ю. Хазанович, Я.В. Макаров // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІПРК-2022). П'ятнадцята міжнародна науково-практична конференція 17-18 травня 2022 р., Київ, Україна. – К.: НАУ, 2022. – 241 с. (збірка тез).

6. Billur Barshan and Hugh F. Durrant-Whyte. An Inertial Navigation System for a Mobile Robot. Proceedings of 1993 IEEE/RSJ International Conference of Intelligent Robots and Systems. Yokohama, Japan, July 2630, 1993.

7. Woodman O.J. An introduction to inertial navigation / O.J. Woodman // Technical Report № 696. UCAM-CL-TR-696. Cambridge: University of Cambridge, 2007. 37 p. <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CLTR-696.pdf>

Abstract. *The paper considers the architecture of the navigation system of a mobile robot. Two models of space scanning and determining the coordinates of objects in the surrounding space are considered.*

Key words: *accelerometer, navigation system, acceleration, error.*

Статья отправлена: 25.04.2023 г.

© Назаренко Н.М., © Зайцев С.С., © Киричук Ю.В.