

## АНАЛІЗ ВИБОРУ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД У НЕДЕТЕРМІНОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Солодов В.Д.

Науковий керівник – к.т.н., проф. Колендовська М.М.  
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС,  
м. Харків, Україна  
e-mail: vitalii.solodov@nure.ua

The technology of autonomous navigation of mobile ground robots (MGR) is a complex combination of algorithms, sensors, actuators and powerful processors running specialized software. Each of these components plays a critical role in enabling autonomous MNRs to accurately capture their surroundings and track the location of obstacles in a non-deterministic environment.

Більшість компаній, що розробляють мобільних наземних роботів (МНР), забезпечують їхню автономність за допомогою двох основних видів сенсорів - лідара (LiDAR) або камер у поєднанні з радарми та технологіями комп'ютерного зору (CV). Найчастіше ці інструменти використовуються в комплексі, але кожен із виробників виділяє одну з них як пріоритетну. У цій статті ми зробимо короткий огляд кожної технології та спробуємо розібратися – за якою з них майбутнє.

Абревіатура LiDAR розшифровується як Light Detection And Ranging («виявлення та визначення дальності за допомогою світла»). Це сенсор, що використовує світловий імпульс у вигляді лазерного променя для сприйняття навколишнього середовища [1]. Тому лідари часто називають «лазерними лідарами», хоча в приладах можуть використовуватися будь-які імпульсні випромінювачі. Залежно від фізичного пристрою, лідари поділяють на два основні типи - рухомі та статичні.

Рухомі або кругові лідари розташовуються з гори МНР у спеціальних модулях. Датчики, що знаходяться в них, постійно обертаються, забезпечуючи огляд на 360°. Показання основних лідарів з гори підкріплюються даними з додаткових лазерних випромінювачів для бічного огляду. Рухомі або механічні лідари виробляють такі компанії, як Velodyne, Waymo та Luminar.

Статичні лідари (Solid state LiDAR) – блоки зі статично зафіксованими або регульованими датчиками, що сканують з високою швидкістю певну область за напрямом руху МНР [1]. Зазвичай таких датчиків у статичному лідарі чотири - кожен охоплює сектор огляду в 90°, а після інформація з них зводиться в цілісну картину з охопленням на 360°. Подібні технологічні рішення виробляють китайські компанії Robosense та Hesai Technology, німецька Blickfeld та канадська LeddarTech.

Датчик LiDAR - це комплекс із випромінювача та сенсора, який використовує лазерні імпульси (ультрафіолет або інфрачервоне випромінювання) для виявлення об'єктів навколо себе [1]. Проходячи від випромінювача на МНР до найближчої поверхні та назад до фотосенсора, лазер заміряє відстань між ними за допомогою методу фазового зсуву [2]. Ці обчислення вираховуються за такою формулою:

$$D = \frac{E_t * c}{2},$$

де  $E_t$  – час повернення імпульсу;  $C$  – швидкість світла;  $D$  – загальна відстань.

Частота сканування лідара становить 50-100 променів за секунду. У середньому лідарна система щомиті здатна відправляти та приймати близько 100 000 лазерних імпульсів на секунду. Лазер може зчитувати навколишні об'єкти на відстані до 60 метрів від сенсора.

Подібна щільність імпульсів та охоплення дозволяють лідару створювати візуальну тривимірну карту навколишнього простору на основі маси отриманих зворотних імпульсів. Безліч подібних лазерних імпульсів формують масив або «хмару точок» [1]. На основі різних хмар точок бортовий комп'ютер МНР будує об'єкти, що становлять тривимірний «пейзаж» навколишнього світу. Ця віртуальна картина може бути основою для подальших маневрів МНР у недетермінованому середовищі [2].

Після отримання даних від сенсорів LiDAR обробляє інформацію в 3 етапи. Кластеризація проводиться за допомогою маси лазерних імпульсів, лідар уловлює контури навколишніх об'єктів, фіксуючи їх на умовній об'ємній «карті» [2]. Відскановані контури порівнюються з реальними об'єктами та класифікуються для подальшої обробки. Об'єкти, які ідентифіковані, передбачаються щодо всіх можливих рухів, які вони можуть зробити.

Завдяки подібному алгоритму обробки інформації, лідари можуть відображати багатогранну картину свого оточення в режимі реального часу, дозволяючи МНР щохвилини приймати сотні ретельно прорахованих рішень про маневри в недетермінованому середовищі [1].

Переваги лідарів:

- забезпеченість даними: LiDAR забезпечує постійний потік інформації для безпечного руху МНР;
- висока точність та швидкість: Лазери лідара зчитують навіть найменші деталі швидше та точніше, ніж комп'ютерний зір;
- відносно слабкий вплив зовнішніх умов: Лідар може працювати ефективно навіть при поганих погодних умовах;
- економія обчислювальних ресурсів: Використання лідара зменшує потребу в обчислювальних потужностях.

До недоліків технології LiDAR можна віднести:

- висока вартість LiDAR;
- складність інтерпретації. Обробка великої кількості даних від

лідара може бути часово- та ресурсоємкою;

– залежність від технічного стану. Точність даних лідара може змінюватися в залежності від стану його датчиків.

Автономна навігація МНР далеко не єдине застосування цієї технології. Лідар можна використовувати для створення 3D-карт з високою роздільною здатністю або лазерного сканування певних областей на поверхні землі або навіть інших планет. Лідари знайшли застосування у картографії, археології, геології, архітектурі, метеорології та сільському господарстві [2].

Хоча у більшості систем на основі лідерів також використовуються камери, існує паралельний напрямок розвитку технологій сенсорних пристроїв для МНР, який спирається виключно на обробку відео за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору (CV). Такі системи є комбінацією апаратного (камери, радары) і програмного забезпечення, що дозволяє роботу візуально сприймати навколишній світ.

На відміну від LiDAR, що спирається на тривимірну картинку, складену з «хмари точок» CV-система використовує двовимірну картинку, яка потім обробляється за допомогою комп'ютерного зору, машинного навчання та штучного інтелекту, щоб виявити об'єкти на зображенні [1]. Цей процес розбитий на кілька основних кроків.

Object Detection це процес визначення конкретних об'єктів на зображенні. Вона дозволяє комп'ютерним системам, що управляють МНР, отримати уявлення про об'єкти, що знаходяться навколо. Надалі ці дані уточнюються за допомогою локалізації зображення, що забезпечує точне уявлення про місцезнаходження, обмежуючи їх полями віртуальних рамок з відомими параметрами.

Щоб програмне забезпечення МНР мало можливість класифікувати зображення використовуються тренуваної згорткової нейронної мережі. Щоб розпізнавати різні об'єкти, нейромережа обробляє зображення через спеціальні фільтри – конволюційні або згорткові шари.

Шари CNN дозволяють групувати пікселі на зображенні та виокремлювати з них певний набір ознак, що відповідають конкретним об'єктам. Після тренування на спеціалізованих наборах даних, згорткові мережі можуть не тільки відрізнити камінь від пакета, але й класифікувати знайдені об'єкти за ступенем важливості для пересування МНР [1].

Для детекції об'єктів на зображеннях застосовуються різні архітектурні моделі згорткових нейронних мереж, включаючи: алгоритм ковзних вікон (Sliding Windows Algorithm); R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network); Fast R-CNN; Faster R-CNN; Mask R-CNN; SSD (Single Shot Detector); YOLO (You Only Look Once).

Найбільш розповсюджені моделі CNN, на зразок YOLO, дозволяють не тільки точно розбити критичні об'єкти детекції на класи, але й виділити на зображенні кожен з них за допомогою спеціальної рамки обмеження або

баундінг-бокса (bounding box).

Object Localization – другий крок у процесі обробки зображень комп'ютерним зором, який дозволяє визначити точне розташування об'єктів детекції на віртуальній сітці піксельних координат.

Існує спеціальний алгоритм виконання цього завдання, який називається немаксимальним придушенням або NMS (Non-maximal Suppression). Він дозволяє порівняти результати кількох обмежувальних рамок, що містять грубі контури об'єкта і вибрати той баундінг-бокс, який найкраще відповідає передбаченню виявлення об'єкта. У процесі порівняння кількох рамок також застосовується метрика IoU (Intersection over Union), що показує рівень їх перетину [2].

Переваги CV:

1. Ціна. Масове виробництво робить сенсорні CV-системи доступними за вигідною ціною.
2. Точність детекції. Комп'ютерний зір ефективніший у визначенні кольорів об'єктів, порівняно з LiDAR.
3. Простіша експлуатація. Інтеграція до МНР простіша, камери краще пристосовуються до змінних умов.

Недоліки CV:

1. Чутливість до погодних умов. Дощ, сніг або сонячні відблиски можуть вплинути на роботу камер.
2. Залежність від інших технологій. Для обробки візуальних даних потрібні складні рішення на базі штучного інтелекту.
3. Складнощі з виміром відстаней. Камери не допомагають у вимірюванні відстаней, тому потрібні інші датчики.

Надалі в роботі буде досліджені роботи обох різновидів та проведено аналіз датчиків для МНР. Працюючи разом, лідар і камери будуть надавати нейронним мережам досить повну картину навколишнього, щоб ті змогли повноцінно дублювати функції людського мозку при керуванні та автономної навігації МНР.

#### Список використаних джерел

1. Rivas-López M. et al. Vehicle detection using an infrared light emitter and a photodiode as visualization system //2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). – IEEE, 2015. – С. 972-975.
2. Rodríguez-Quiñonez J. C. et al. Improve laser detection in ccd for integrated photogrammetry-laser scanner //2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). – IEEE, 2014. – С. 1944-1948.
3. Незовибатько О. І. Методи навігації мобільних наземних роботів в недетермінованих середовищах / О. І. Незовибатько // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали 25-го Міжнар. молодіжн. форуму, 20–21 квітня 2021 р. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – Т. 3. – С. 75–76.