

УДК 004.42

doi:10.20998/2413-4295.2023.04.06

## ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ТЕОРІЇ ГРАФІВ У МОДЕЛЮВАННІ 2D СКАНЕРА ДЛЯ ОБХОДУ ПЕРЕШКОД

**О. А. ТАТАРИНОВА**

кафедра комп'ютерного моделювання процесів та систем, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА  
e-mail: Oksana.tatarinova@khpі.edu.ua

**АНотація** Розглядається проблематика розробки та застосування моделі лазерного датчика відстані RPLIDAR A1 для задачі обходу перешкод у рамках функціонування віртуального робота, при цьому акцент зроблено на використанні алгоритмів теорії графів. Проведено аналіз впливу алгоритмів Дейкстри та A\* на ефективність процесу ухилення від перешкод за допомогою 2D сканера. Важливість цих алгоритмів у контексті теорії графів підкреслена через їх здатність до оптимізації навігаційних траєкторій ів умовах, які передбачають наявність множинних перешкод. Окрему увагу приділено значенню розглядуваних алгоритмів у сферах автономної навігації, зокрема в їх застосуванні у секторах, як-от безпілотні літальні апарати, аграрний сектор, геодезичні дослідження та сфера пошуково-рятувальних операцій. Надано опис розробленого програмного засобу з інтегрованою графічною складовою та користувацьким інтерфейсом, що забезпечує можливість контролю над процесом сканування та навігації. Наданий опис робочих принципів та моделей виміру, що застосовуються у 2D датчиках, сприяє глибокому розумінню функціональних можливостей та потенціалу використання RPLIDAR A1. Дослідження підтвердило, що включення алгоритмів Дейкстри та A\* в систему обходу перешкод значно покращує ефективність та безпеку роботи мобільних роботів. Тестування розробленої моделі виявило значну перевагу інтеграції вказаних алгоритмів у порівнянні з традиційними підходами, відкриваючи нові перспективи для розвитку передових автономних навігаційних систем. Важливість застосування алгоритмів теорії графів у розробці роботизованих систем висвітлена через їх вплив на підвищення якості виявлення та ухилення від перешкод, що сприяє поліпшенню ефективності автономних навігаційних систем у галузях робототехніки та автоматизованого транспорту.

**Ключові слова:** RPLIDAR A1; алгоритм A\*; алгоритм Дейкстри; пошук шляху.

## APPLICATION OF GRAPH THEORY ALGORITHMS IN MODELING 2D SCANNER FOR OBSTACLE AVOIDANCE

**О. ТАТАРИНОВА**

Department of Computer Modeling of Processes and Systems, NTU "KhPI," Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** The research addresses the development and application of the RPLIDAR A1 laser distance sensor model for the task of obstacle avoidance within the functioning of a virtual robot, with a focus on the use of graph theory algorithms. The influence of Dijkstra's and A\* algorithms on the efficiency of the obstacle avoidance process using a 2D scanner is thoroughly analyzed. The significance of these algorithms in the context of graph theory is emphasized due to their ability to optimize navigation trajectories in environments characterized by the presence of multiple obstacles. Particular attention is paid to the importance of these algorithms in the field of autonomous navigation, especially in their application in sectors such as unmanned aerial vehicles, agriculture, geodetic research, and search and rescue operations. A description is provided of the developed software tool with an integrated graphical component and user interface, which allows for control over the scanning and navigation process. A detailed description of the working principles and measurement models used in 2D sensors contributes to a deeper understanding of the functional capabilities and potential of the RPLIDAR A1. The research confirms that the inclusion of Dijkstra's and A\* algorithms in the obstacle avoidance system significantly improves the efficiency and safety of mobile robots' operations. Testing of the developed model revealed a significant advantage of integrating these algorithms compared to traditional approaches, opening new perspectives for the development of advanced autonomous navigation systems. The importance of applying graph theory algorithms in the development of robotic systems is highlighted through their impact on improving the quality of detection and obstacle avoidance, thereby enhancing the efficiency of autonomous navigation systems in the fields of robotics and automated transport.

**Keywords:** RPLIDAR A1; A\* algorithm; Dijkstra's algorithm; pathfinding.

### Вступ

Технологія уникнення перешкод представляє собою ключову дослідницьку область у сфері наземних мобільних роботів та є одним з найважливіших аспектів розвитку інтелектуальних роботів. Добра продуктивність уникнення перешкод є

базовою передумовою для робота при виконанні певного завдання.

Технологія уникнення перешкод може бути поділена на дві частини: одна - це глобальний метод уникнення перешкод на основі відомої інформації про середовище, а інша - це локальний метод уникнення перешкод на основі інформації від сенсорів. Ця стаття головним чином зосереджена на локальному методі

уникнення перешкод на основі інформації від 2-D лідару.

Лідар має переваги високої точності, великого діапазону виявлення та швидкої частоти сканування. Він широко використовується в галузі виявлення перешкод наземних мобільних роботів [1]. Лідар можна поділити на 2D лідар та 3D лідар. 3D лідар може отримувати інформацію про висоту перешкод, тому він підходить для нерівних середовищ, таких як море, поле тощо. Але його дані великі, що вимагає більше часу на обробку, тим часом ціна 3-D лідару вища, ніж у 2-D лідару [2-4]. Ця стаття зосереджується на 2-D лідарі через його низьку ціну та більш швидкий час обробки.

Замість традиційних методів уникнення перешкод, таких як метод штучного потенційного поля та метод видимого графа [5,6], також можна використовувати алгоритми Дейкстри та A\*.

Традиційний метод штучного потенційного поля має деякі проблеми, такі як локальне оптимальне рішення, і недоступність цілі, коли робот знаходиться близько до цілі. Існують деякі вдосконалені методи штучного потенційного поля, що поєднуються з нечіткими правилами [7], генетичним алгоритмом [8] та методом регресійного пошуку [9] відповідно. Метод візуального графу може бути використаний для визначення, чи перетинає лінія між роботом та ціллю перешкоду, відсутність перетину означає, що ціль видима, робот може безпосередньо досягти цільової точки, в іншому випадку, слід вибрати одну з ліній зв'язку від робота до кінців перешкоди як напрямок руху [10].

Алгоритм Дейкстри є ефективним для знаходження найкоротшого шляху в графі з не від'ємними вагами ребер [11,12]. Він використовує принцип накопичення мінімальних витрат від стартової точки до кожної з інших вершин, що дозволяє роботу швидко оцінити найоптимальніший маршрут обходу перешкод. Алгоритм A\* використовує евристику для прискорення процесу пошуку, об'єднуючи переваги Дейкстри з додатковими оптимізаціями для зменшення загальної кількості оброблених вершин. Він вважається одним з найефективніших та найпопулярніших алгоритмів для вирішення задачі пошуку шляху в іграх та робототехніці, особливо у складних та динамічних середовищах.

### Мета роботи

Метою даної роботи є дослідження та розробка ефективних методів уникнення перешкод для наземних мобільних роботів, з акцентом на використанні локальних методів, заснованих на інформації, отриманій від 2-D лідару. В роботі аналізуються потенційні переваги та обмеження різних існуючих технік, з особливою увагою до алгоритмів Дейкстри та A\*, та розглядаються

яким чином ці методи адаптовані та оптимізовані для підвищення автономності та ефективності мобільних роботів в різноманітних середовищах.

### Опис моделі 2D сканера RPLIDAR A1

RPLIDAR A1 є високопродуктивним 2D лазерним сканером, призначеним для виявлення перешкод і картографування простору. Він працює за принципом вимірювання відстані за допомогою лазерного променя, що відбивається від об'єктів. Сканер оснащений високошвидкісним мотором, який обертає лазерне дзеркало, дозволяючи сканувати навколишнє середовище з кутом охоплення 360 градусів (рис.1). Цей датчик здатний вимірювати відстані в діапазоні від 0,2 до 12 метрів з високою точністю, надаючи детальні дані про структуру навколишнього середовища [13]. Основні технічні характеристики надано в табл. 1.



Рис. 1 – RPLIDAR A1 [13]

Таблиця 1 – Технічні характеристики RPLIDAR A1 [13]

Пункт	Опис	Значення
Діапазон відстані RPLidar	Мінімальний та максимальний діапазон лідарних променів у метрах	0.15–12 м
Кутовий діапазон	Кутовий діапазон, який може сканувати лідар у градусах	0–360°
Роздільна здатність відстані	Найменша різниця у відстані, яку може виміряти ЛІДАР	<1% від відстані
Кутова роздільна здатність	Кутовий приріст, який лідар використовує для сканування навколишнього середовища	≤1

RPLIDAR A1 має кілька значущих переваг у контексті ухилення від перешкод для мобільних роботів. По-перше, його здатність до 360-градусного сканування забезпечує всебічний огляд навколишнього середовища, дозволяючи роботу виявляти перешкоди у всіх напрямках. По-друге, висока точність вимірювань RPLIDAR A1 забезпечує надійне виявлення об'єктів, що є критично важливим для безпечного і ефективного обходу перешкод. Крім того, він має компактні розміри та низьке енергоспоживання, що робить його ідеальним для використання у малогабаритних мобільних роботах.

### Алгоритми визначення та обходу перешкод

Метод визначення перешкод за допомогою RPLIDAR A1 полягає у відстеженні променів, що відбиваються від об'єктів у навколишньому середовищі. Кожен відбитий промінь надає інформацію про відстань до об'єкту та його положення відносно сканера. Алгоритми обробки даних, інтегровані в програмне забезпечення робота, аналізують цю інформацію для виявлення потенційних перешкод і визначення їх форми та розміру. Це дозволяє роботу автоматично планувати маршрут обходу цих перешкод, оптимізуючи свій шлях у реальному часі.

Даний датчик використовує сканування простору за допомогою принципу лазерної тріангуляції (рис. 2.) Цей метод вимірювання відстаней використовує здатність лазерного променя поширюватися в світловому пучку з малою розбіжністю на великі відстані. Зазвичай лазерний промінь висвітлює точку, відстань до якої лазерного пристрою необхідно виміряти; по суті, лазер використовується як показчик. Розсіяне або дзеркальне відбиття від цієї точки контролюється детектором, який встановлюється на деякій відстані від лазерного променя, такому, що джерело лазерного випромінювання, об'єкта та детектор утворюють трикутник. На детекторі лінза фокусує відбите світло на спеціальній світлочутливій матриці, і положення яскравої плями на чіпі показує напрямок вхідного світла, тобто кут між лазерним променем і повернутим світлом, звідки відстань і може бути розраховано.

Метод тріангуляції, зображений на рис.2, є основою для точного вимірювання відстаней, які використовуються в системі RPLIDAR A1 для визначення перешкод. Він вираховує відстань, використовуючи здатність лазерного променя утворювати точні вимірювання на основі кутової різниці між випромінюванням та прийомом сигналу. Однак, для ефективного навігаційного планування, необхідно не лише визначити перешкоди, а й обрати оптимальний шлях їх обходу. Традиційно використовуються методи, такі як

штучне потенційне поле, які, хоч і ефективні у простих середовищах, можуть стикатися з труднощами при обході складних перешкод. Це створює необхідність використання більш складних алгоритмів, які б могли забезпечити високу адаптивність та точність у плануванні маршрутів.

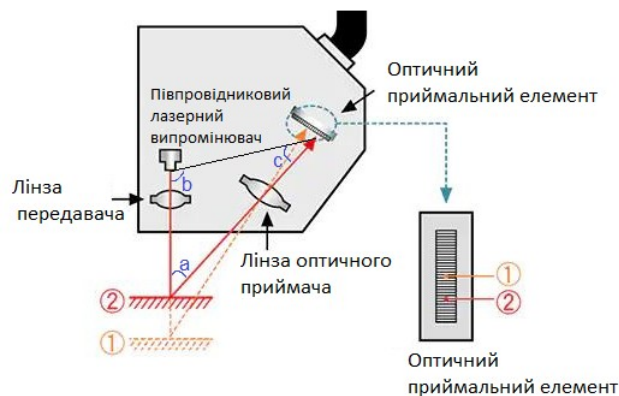


Рис. 2 – Метод тріангуляції [13]

Алгоритми Дейкстри та A\* виходять за рамки традиційних підходів, пропонуючи більш гнучкі та ефективні стратегії для обходу перешкод. Алгоритм Дейкстри ідеально підходить для знаходження найкоротшого шляху в графах з не негативними вагами ребер та є особливо корисним, коли необхідно забезпечити точну та передбачувану поведінку робота. З іншого боку, алгоритм A\* використовує евристичні методи для ефективного пошуку шляхів, дозволяючи роботу швидко реагувати на динамічні зміни у середовищі та оптимізувати свій маршрут на льоту.

Алгоритм Дейкстри використовується для знаходження найкоротшого шляху від однієї вершини до усіх інших у ваговому графі з не від'ємними вагами ребер. Принцип роботи алгоритму для RPLIDAR A1 може бути описаний наступним чином:

1 Ініціюється процес шляхом вибору початкової та бажаної кінцевої позиції робота.

2 Конструюються два списки комірок: відкритий та закритий. Початкова комірка, що відповідає стартовій позиції робота, поміщається у відкритий список. Закритий список містить комірки, які представляють перешкоди чи вже були пройдені.

3 Реалізується обчислення  $g$ , яке визначає відстань від поточної точки до кінцевої за формулою:

$$g = \sqrt{(x_{start} - x_{current})^2 + (y_{start} - y_{current})^2}$$

5 Обирається комірка із відкритого списку, що має найменшу ціну, та переміщується до

закритого списку. Всі сусідні комірки, що не є частиною закритого списку, додаються до відкритого списку.

6 У випадку, коли одна з комірок є цільовою, процес переходить до кроку 6. Якщо ж ціль не досягнута, процедура повторюється з пункту 4.

7 Виконується зворотне відтворення шляху від кінцевої точки до стартової. Для кожної активної комірки аналізуються її сусіди, і серед них обирається та з найнижчою оцінкою. Процес продовжується, доки не буде досягнуто стартової комірки. Повний шлях визначається як сума мінімальних значень серед сусідніх комірок.

Ця методика, застосована до даних, отриманих із RPLIDAR A1, дозволяє забезпечити високоєфективне планування траєкторій робота, оптимізуючи маршрут обходу перешкод на основі точних лазерних вимірювань.

Алгоритм A\* являє собою еволюційне вдосконалення алгоритму Дейкстри, адаптоване для прискореного виявлення оптимальної траєкторії робота з використанням евристичної оцінки. В цьому контексті, алгоритм A\* використовується для RPLIDAR A1 з метою покращення навігації шляхом використання евристичної функції  $h$ , яка визначається за формулою:

$$h = \sqrt{(x_{final} - x_{current})^2 + (y_{final} - y_{current})^2}$$

та дозволяє оцінити відстань від поточної позиції до цільової точки.

Принцип роботи алгоритму A\* наступний.

1 Вибір початкової та цільової позицій ініціює алгоритмічний процес.

2 Створення двох списків комірок: відкритий та закритий. Початкова комірка, що кореспондує зі стартовою позицією робота, розташовується у відкритому списку, тоді як закритий список включає комірки з перешкодами.

3 Знаходимо евристичну оцінку  $f$  за формулою  $f=g+h$ , де  $g$  - відстань від стартової точки до поточної, яка відображає мінімальну відстань від початкової точки до цільової при побудові траєкторії через цю точку.

4 Вибір з відкритого списку комірки з найнижчим значенням  $f$ .

5 Переміщення обраної комірки до закритого списку і розгляд всіх сусідніх точок, що не є частиною закритого списку, з їх подальшим додаванням до відкритого списку. У випадку, якщо серед розглянутих точок знаходиться ціль, перехід до наступного кроку, в іншому випадку - повторення з кроку 4.

6 Зворотне відтворення траєкторії, аналогічно до алгоритму Дейкстри, шляхом використання зібраних даних для побудови маршруту від цільової до стартової позиції.

Цей підхід дозволяє RPLIDAR A1 з точністю визначати та обходити перешкоди, значно підвищуючи ефективність планування маршруту робота в складних середовищах.

### Опис програмного засобу

Програмний засіб, розроблений в рамках цієї роботи, створений за допомогою мови програмування Java 8 JDK 20, використовуючи бібліотеку JavaFX та інструмент SceneBuilder для дизайну графічного інтерфейсу користувача. Діаграма класів представлена на рис. 3.

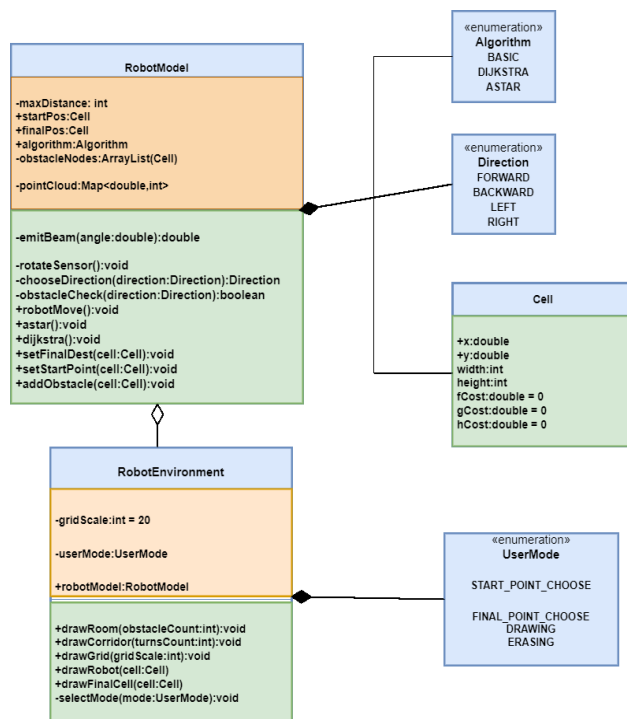


Рис. 3 – Діаграма класів

Ключовим класом є клас RobotModel, який використовується в рамках програми для зображення автономної навігації мобільного робота. Основні функції цього класу включають:

emitBeam: метод, який відіграє ключову роль у моделюванні процесу випромінення лазерного променя. Приймаючи кут як параметр, метод реалізує емісію лазерного променя, де довжина лінії (lineLength) встановлена як одиниця для постійної перевірки наявності перешкод. У кінцевій точці променя аналізується колір пікселя; розбіжності у кольорі індикують наявність перешкоди, дозволяючи фіксувати кут і довжину променя.

rotateSensor: функціонал цього методу зосереджений на здійсненні повного кругового сканування з заданої точки. Показник angularResolution визначає частоту випромінення, що для спрощення береться за одиницю, дозволяючи провести 360 вимірювань за один оберт. Результатом

є заповнення масиву pointCloud, який представляє собою зібрані виміряні точки у форматі довжини та кута.

obstacleCheck: метод, який спрямований на виявлення перешкод у визначеному напрямку. В рамках певного діапазону кутів проводиться пошук довжин, які є меншими за мінімальне прийнятне значення, для ідентифікації перешкод.

chooseDirection: випадковий вибір наступного напрямку руху робота, де існує 20% ймовірність обрати зворотній напрямок та 80% - один з сусідніх.

robotMove: втілення базового алгоритму обходу перешкод, що не обов'язково цілиться на досягнення кінцевої точки, хоча така можливість передбачена. Успішне завершення роботи алгоритму може привести до досягнення кінцевої точки з певною ймовірністю.

astar та dijkstra: Реалізація навігаційних алгоритмів A\* та Дейкстри відповідно, які спрямовані на пошук оптимального шляху до кінцевої точки. Алгоритм A\* використовує евристичну функцію hCost, що визначає відстань від поточної до кінцевої точки, і програма також дозволяє рух по діагоналі.

Клас RobotEnvironment відповідає за генерацію середовища для навігації робота, включаючи drawRoom для створення кімнати з перешкодами, drawCorridor для моделювання коридору з поворотами, drawGrid для візуалізації сітки з визначеним масштабом та selectMode для перемикання режимів взаємодії користувача.

Цей підхід до програмування моделі робота демонструє велику гнучкість та адаптивність у виборі стратегій навігації та обходу перешкод, забезпечуючи важливу підтримку для дослідження та розвитку алгоритмів автономної навігації.

Продемонструємо результати роботи програми. На рис. 4 представлений коридор з двома поворотами та модель робота зі встановленим датчиком відстані, який проводить сканування місцевості на 360 градусів. Максимальна дальність - 200 пікселів (4 клітинки). Модель знаходиться біля повороту коридора та проводиться сканування простору. На рис. 5 - приклад вимірів значень довжини на праву сторону. Відстань до стіни дорівнює 153 пікселі.

Результат роботи алгоритму A\* (рис. 6). Зеленим кольором позначена початкова точка, червоним – кінцева. Шлях до кінцевої точки позначений жовтим кольором. Отримано повідомлення (рис. 7) у діалоговому вікні про успішне завершення з результатом довжини отриманої траєкторії можливого руху.

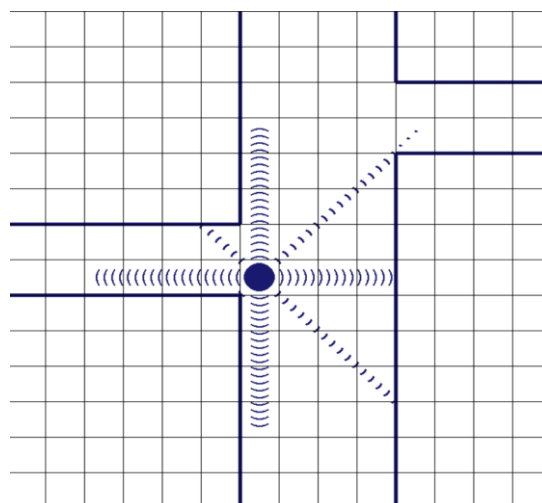


Рис. 4 - Модель робота у коридорі

```
Start point - ( 325 ; 375 )### End point - ( 498.0 ;378.0 )###angle - 352; dist - 153
Start point - ( 325 ; 375 )### End point - ( 498.0 ;377.0 )###angle - 353; dist - 153
Start point - ( 325 ; 375 )### End point - ( 498.0 ;377.0 )###angle - 354; dist - 153
Start point - ( 325 ; 375 )### End point - ( 498.0 ;377.0 )###angle - 355; dist - 153
Start point - ( 325 ; 375 )### End point - ( 498.0 ;376.0 )###angle - 356; dist - 153
Start point - ( 325 ; 375 )### End point - ( 498.0 ;376.0 )###angle - 357; dist - 153
Start point - ( 325 ; 375 )### End point - ( 498.0 ;376.0 )###angle - 358; dist - 153
Start point - ( 325 ; 375 )### End point - ( 498.0 ;375.0 )###angle - 359; dist - 153
```

Рис. 5 – Приклад результатів вимірювання

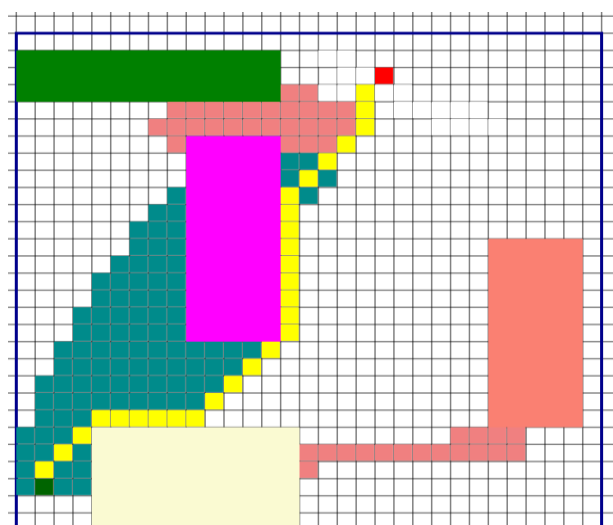


Рис. 6 – Алгоритм A\*

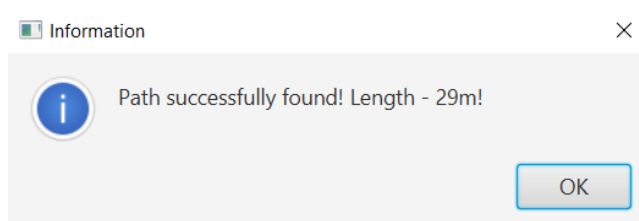


Рис. 7 – Повідомлення по закінченню виконання програми

Продемонструємо для заданих точок пошуку шляху за алгоритмом Дейкстри (рис. 8).

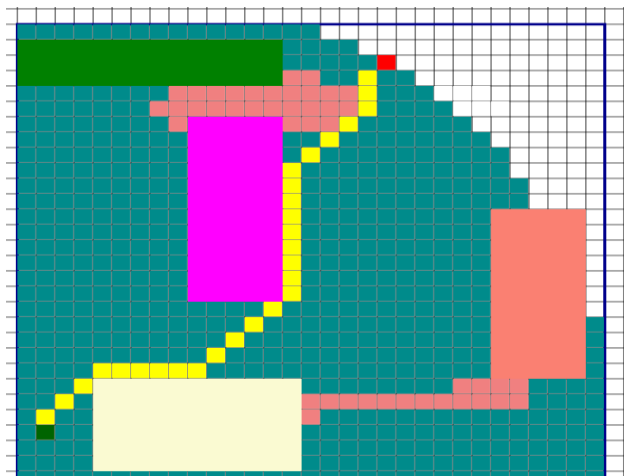


Рис. 8 – Побудова шляху алгоритмом Дейкстри

Хоча алгоритм Дейкстри захоплює більше комірок у процесі пошуку через відсутність евристичної функції, його результати виявляються такими ж ефективними, як і в алгоритмі A\*. Алгоритм знаходить той же шлях з однаковою траєкторією та довжиною, підкреслюючи його надійність та точність у статичних середовищах, де зміни у конфігурації перешкод відбуваються рідко.

### Висновки

У рамках дослідження було виявлено, що розроблений програмний засіб ефективно демонструє потенціал різних алгоритмів навігації для мобільних роботів, оснащених 2D сканером RPLIDAR A1. Встановлено, що алгоритми Дейкстри та A\* перевершують традиційні методи, забезпечуючи вищу точність та передбачуваність у поведінці роботів, особливо у складних умовах, де середовище підлягає динамічним змінам.

Алгоритм Дейкстри рекомендується до використання у сценаріях, де середовище має статичний характер та відсутні часті зміни у конфігурації перешкод, оскільки він забезпечує надійний пошук оптимального шляху. З іншого боку, алгоритм A\* є більш пристосованим до динамічних середовищ, дозволяючи роботу оперативного адаптуватися до змін і забезпечувати планування маршруту в реальному часі.

### Список літератури

1. Ye C., Borenstein J. Characterization of a 2-D laser scanner for mobile robot obstacle negotiation. *ICRA*. 2002. P. 2512-2518. doi: 10.1109/ROBOT.2002.1013609.
2. Fayad F., Cherfaoui V. Tracking objects using a laser scanner in driving situation based on modeling target

shape. *Intelligent Vehicles Symposium*. 2007. P. 44-49. doi: 10.1109/IVS.2007.4290089.

3. Takahashi M., Kobayashi K., Watanabe K., Kinoshita T. Development of prediction based emergency obstacle avoidance module by using LIDAR for mobile robot. *Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS), Joint 7th International Conference on and Advanced Intelligent Systems (ISIS) [15th International Symposium on]*. 2014. P. 561-564. doi: 10.1109/SCIS-ISIS.2014.7044725.
4. Zhou X., Wang Y., Zhu Q., Miao Z. Circular object detection in polar coordinates for 2D LIDAR data. *Chinese Conference on Pattern Recognition*. 2016. P. 65-78. doi: 10.1016/j.infsof.2012.11.006.
5. Yu C., Zhang D. Obstacle detection based on a four-layer laser radar. *Robotics and Biomimetics, ROBIO 2007. [IEEE International Conference on]*. 2007. P. 218-221. doi: 10.1109/ROBIO.2007.4522163.
6. Dutta A., Roy S., Kreidl O., Böllöni L. Multi-robot information gathering for precision agriculture: Current state, scope, and challenges. *IEEE Access*, 2021. no 9. P. 161416–161430. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3130900.
7. Liu X., Wang J., Li J. URTSegNet: A real-time segmentation network of unstructured road at night based on thermal infrared images for autonomous robot system. *Control. Eng. Pract.* 2023. no 137. P. 105560. doi: 10.1016/j.conengprac.2023.105560.
8. Cen Y., Wang L., Zhang H. Real-time obstacle avoidance strategy for mobile robot based on improved coordinating potential field with genetic algorithm. *Control Applications [IEEE International Conference on]*. 2007. P. 415-419. doi: 10.1109/cca.2007.4389266.
9. Li G., Yamashita A., Asama H., Tamura Y. An efficient improved artificial potential field based regression search method for robot path planning, *Mechatronics and Automation (ICMA) [International Conference on]*. 2012. P. 1227-1232. doi: 10.1109/ICMA.2012.6283526.
10. Zhang Q., Chen M. S., Li B. A visual navigation algorithm for paddy field weeding robot based on image understanding. *Comput. Electron. Agric.* 2017. no 143. P. 66–78. doi: 10.1016/j.compag.2017.09.008.
11. Капітонова Ю. В., Кривий С. Л., Летичевський О. А., Луцикий Г. М., Песурін М. К. *Основи дискретної математики*. Київ, 2002.
12. Андрійчук В. І., Комарницький М. Я., Іщук Ю. Б. *Вступ до дискретної математики*. Львів. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003.
13. Laser range scanner RPLIDAR A1 Datasheet. URL: <https://download.slamtec.com/api/download/rplidar-a1m8-datasheet/2.1?lang=en>

### References (transliterated)

1. Ye C., Borenstein J. Characterization of a 2-D laser scanner for mobile robot obstacle negotiation. *ICRA*, 2002, pp. 2512-2518, doi: 10.1109/ROBOT.2002.1013609.
2. Fayad F., Cherfaoui V. Tracking objects using a laser scanner in driving situation based on modeling target shape. *Intelligent Vehicles Symposium*, 2007, pp. 44-49. doi: 10.1109/IVS.2007.4290089.
3. Takahashi M., Kobayashi K., Watanabe K., Kinoshita T. Development of prediction based emergency obstacle avoidance module by using LIDAR for mobile robot. *Soft*

- Computing and Intelligent Systems (SCIS), Joint 7th International Conference on and Advanced Intelligent Systems (ISIS) [15th International Symposium on]*, 2014, pp. 561-564, doi: 10.1109/SCIS-ISIS.2014.7044725.
4. Zhou X., Wang Y., Zhu Q., Miao Z. Circular object detection in polar coordinates for 2D LIDAR data. *Chinese Conference on Pattern Recognition*, 2016, pp. 65-78, doi: 10.1016/j.infsof.2012.11.006.
  5. Yu C., Zhang D. Obstacle detection based on a four-layer laser radar. *Robotics and Biomimetics, ROBIO 2007. [IEEE International Conference on]*, 2007, pp. 218-221, doi: 10.1109/ROBIO.2007.4522163.
  6. Dutta A., Roy S., Kreidl O., Bölöni L. Multi-robot information gathering for precision agriculture: Current state, scope, and challenges. *IEEE Access*, 2021, no 9, pp. 161416–161430, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3130900.
  7. Liu X., Wang J., Li J. URTSegNet: A real-time segmentation network of unstructured road at night based on thermal infrared images for autonomous robot system. *Control. Eng. Pract.*, 2023, no 137, pp. 105560, doi: 10.1016/j.conengprac.2023.105560.
  8. Cen Y., Wang L., Zhang H. Real-time obstacle avoidance strategy for mobile robot based on improved coordinating potential field with genetic algorithm. *Control Applications [IEEE International Conference on]*, 2007, pp. 415-419, doi: 10.1109/cca.2007.4389266.
  9. Li G., Yamashita A., Asama H., Tamura Y. An efficient improved artificial potential field based regression search method for robot path planning. *Mechatronics and Automation (ICMA) [International Conference on]*, 2012, pp. 1227-1232, doi: 10.1109/ICMA.2012.6283526.
  10. Zhang Q., Chen M. S., Li B. A visual navigation algorithm for paddy field weeding robot based on image understanding. *Comput. Electron. Agric.*, 2017, no 143, pp. 66–78, doi: 10.1016/j.compag.2017.09.008.
  11. Kapitonova Yu. V., Kryvyi S. L., Letychevskiy O. A., Lutsykyi H. M., Pesurin M. K. *Osnovy dyskretnoi matematyky*. Kyiv, 2002.
  12. Andriichuk V. I., Komarnytskyi M. Ya., Ishchuk Yu. B. *Vstup do dyskretnoi matematyky*. Lviv. Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka. 2003.
  13. Laser range scanner RPLIDAR A1 Datasheet. Available at: <https://download.slamtec.com/api/download/rplidar-alm8-datasheet/2.1?lang=en>

#### Відомості про авторів (About authors)

**Татарінова Оксана Андріївна** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри комп'ютерного моделювання процесів та систем; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3090-8469>; e-mail: [oksana.tatarinova@khpi.edu.ua](mailto:oksana.tatarinova@khpi.edu.ua).

**Tatarinova Oksana** – Ph. D., Associate Professor of the Department of Computer Modelling of Processes and Systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3090-8469>; e-mail: : [oksana.tatarinova@khpi.edu.ua](mailto:oksana.tatarinova@khpi.edu.ua).

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

Татарінова О. А. Застосування алгоритмів теорії графів у моделюванні 2D сканера для обходу перешкод. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 4 (18). С. 44-50. doi:10.20998/2413-4295.2023.04.06.

*Please cite this article as:*

Tatarinova O. Application of graph theory algorithms in modeling 2D scanner for obstacle avoidance. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 4(18), pp. 44-50, doi:10.20998/2413-4295.2023.04.06.

*Надійшла (received) 06.11.2023  
Прийнята (accepted) 11.12.2023*