

Динамическая обработка 2D-карт, используемых алгоритмами поиска для планирования траектории

Ш. М. Алзубайри, А. А. Петунин, Х. Л. Алван

Аннотация — В робототехнических исследованиях планирование пути привлекло значительный интерес. Проблемы планирования пути решались с помощью различных алгоритмов. Исследователи редко тестировали алгоритмы на картах, имитирующих реальность; вместо этого они оценивали эффективность алгоритмов на запрограммированных картах, как обычных, так и сгенерированных случайным образом. Реалистичные карты очень надежны для тестирования алгоритмов, поскольку они могут иметь различные препятствия разных размеров и форм, в частности, острые углы в граничных контурах. Вместе с тем, использование реальных карт может направить исследования в сторону морфологических операций и области обработки изображений. Кроме того, создание этих карт может занять много времени и потребовать дополнительных усилий.

В данном исследовании был предложен простой и динамичный метод эффективного чтения и обработки 2D-карт таким образом, чтобы поисковые алгоритмы могли их распознавать. Моделирование проводилось на двух реалистичных картах, чтобы продемонстрировать достоинства предлагаемого метода, а для планирования пути на этих картах был выбран алгоритм вероятностной дорожной карты (PRM).

Во всех симуляциях предложенный метод успешно считывал и обрабатывал карту в среднем за 1,50 с. Более того, PRM быстро распознал границы, препятствия и свободное пространство на картах и спланировал маршрут без столкновений от начальной точки до пункта назначения.

Ключевые слова— алгоритм поиска, морфологические операции, обработка изображений, построение карты.

I. ВВЕДЕНИЕ

За последние 3 десятилетия мобильные роботы эффективно использовались в различных прикладных областях [1-3], включая оборонную сферу [4, 5], бизнес [6, 7] и сферу безопасности [8], для выполнения жизненно важных задач. Планирование пути является одной из важных задач автономного мобильного робота. Задача планирования пути заключается в поиске мобильными роботами оптимального или почти оптимального от начальной точки до конечной в среде с препятствиями [9].

Статья получена 7 апреля 2025.

Ш. М. Алзубайри – Уральский федеральный университет (e-mail: Shaymaaalzubairi77@gmail.com), Екатеринбург, Россия

А. А. Петунин – Уральский федеральный университет (e-mail: a.a.petunin@urfu.ru), Екатеринбург, Россия

Х. Л. Алван – Технологический университет (e-mail: lefta.hussam@gmail.com), Багдад, Ирак

В настоящее время разработано множество эвристических или метаэвристических алгоритмов для решения проблем планирования пути [10-15].

В большинстве статей, опубликованных по этой тематике, алгоритмы не тестировались на картах, имитирующих реальность. Исследователи старались избегать этой ситуации, поскольку она могла бы увеличить рабочую нагрузку и отнять дополнительное время. Более того, обработка реальных карт может выходить за рамки их компетенции и требовать помощи специалистов по обработке изображений и морфологическим операциям. Исследователи оценивали эффективность своих подходов на запрограммированных картах, как показано на рисунке 1(а)–(г).

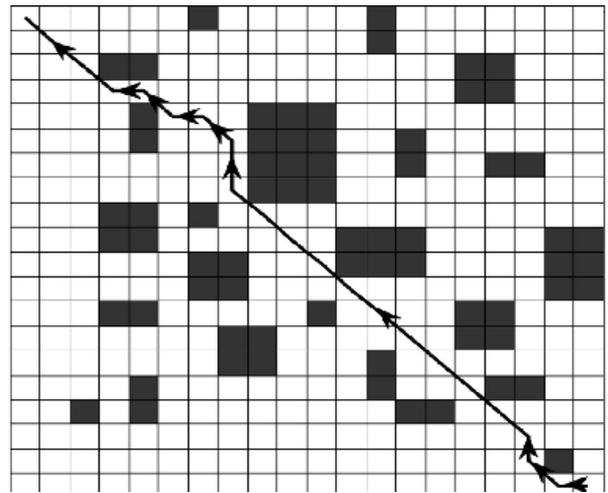


Рис. 1(а): Мобильный робот и мишень

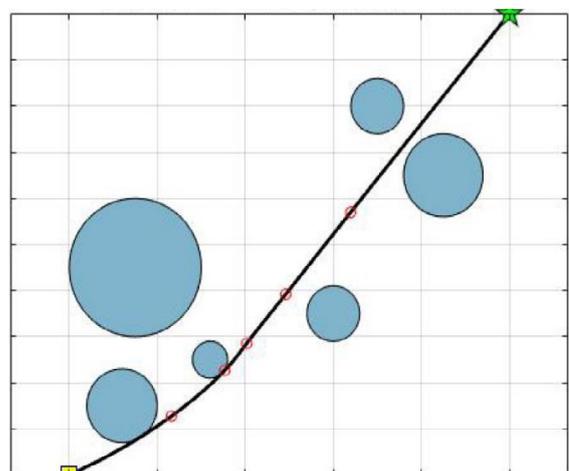


Рис. 1(б): Гладкий путь

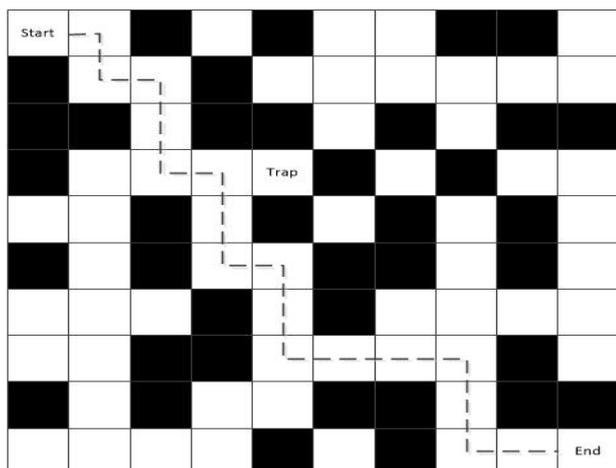


Рис. 1(в): Препятствия в окружающей среде

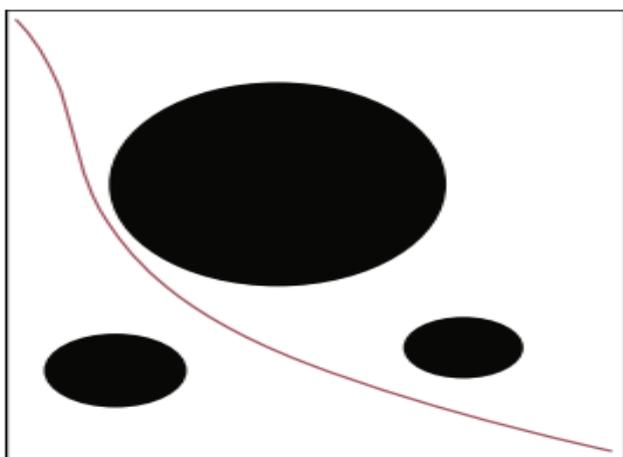


Рис. 1(г): Гладкий путь

Рис. 1. Различные алгоритмы планирования пути на запрограммированных картах

Запрограммированные карты состоят из мотивов, которые неточно отображают реальные среды. Соответственно, оценка производительности алгоритма исключительно с помощью запрограммированных карт недостаточна. Между тем, в реальных средах можно найти препятствия всех форм и размеров, широкие и узкие дороги, и острые углы разных градусов. Следовательно, для тестирования алгоритмов необходимо использовать более реалистичные карты, чтобы улучшить процесс тестирования и сделать его более надежным и безопасным. Тем не менее, создание персональной карты может занять много времени, особенно при работе с многочисленными препятствиями разных размеров и форм.

Для этого требуется простой и быстрый метод для чтения и обработки изображений карт напрямую, без необходимости их программирования таким образом, чтобы алгоритмы поиска могли распознавать эти карты и планировать возможные пути на них. В этой работе был предложен эффективный, гибкий и очень быстрый метод для чтения и обработки изображений 2D-карт таким образом, чтобы алгоритмы поиска распознавали их границы, а также препятствия, в свободную область, и планировали на них пути без столкновений за

конкурентоспособное время и с высокой точностью. Метод в основном зависит от обработки изображений и морфологических операций. Морфологическая операция — это метод, который анализирует формы объектов на изображении путем добавления или удаления пикселей из изображения на основе значения других пикселей в его окрестности. Границы, скелеты и выпуклые оболочки входят в число форм областей или компонентов изображения, извлеченных с помощью этого механизма [16].

Остальная часть статьи организована следующим образом: Раздел 2 описывает методологию. Раздел 3 освещает PRM. Раздел 4 представляет эксперименты и результаты. Наконец, Раздел 5 суммирует выводы.

II. МЕТОДОЛОГИЯ

В этом разделе подробно объясняется предлагаемый метод, который считывает и анализирует карты, имитирующие реальную среду. Он использует морфологические операции и обработку изображений. Морфологические операции широко используются в сегментации изображений, распознавании объектов и извлечении признаков.

A. Обработка изображений и морфологические операции

Морфологические операции — это математический метод манипулирования и анализа структуры изображений, и они могут применяться к 2D-картам. При обработке бинарных или полутонных изображений морфологические операции полезны для выполнения анализа формы, снижения шума и извлечения признаков. Две основные морфологические операции — это эрозия и дилатация, которые в сочетании позволяют выполнять чрезвычайно сложные задачи. В обработке изображений ниже приводится общее резюме распространенных морфологических операций [17]:

- **Расширение:** этот эффект подразумевает утолщение или увеличение границы элемента изображения. В этом процессе в каждом пикселе размещается предустановленная форма, например, квадрат или круг, которая служит структурным элементом. Значение пикселя присваивается единице, если какая-либо область структурного элемента перекрывается с объектом [18]. Этот компонент можно использовать для привлечения внимания к определенным областям, соединения разрозненных частей элемента и закрытия небольших пространств.
- **Эрозия:** этот компонент включает в себя истончение или сжатие границ объекта и является обратным по отношению к дилатации. Эрозия использует структурирующий элемент способом, похожим на дилатацию, изменяя значение пикселя на единицу только тогда, когда все компоненты структурирующего элемента совпадают [19]. Эрозия полезна для удаления мелких изолированных деталей и разделения перекрывающихся элементов.
- **Открытие:** Этот компонент состоит из смеси расширения и эрозии. Кроме того, этот компонент

довольно хорош для устранения шума и мелких объектов. Открытие помогает разбить узкие перешейки и сгладить формы объектов [20]. Кроме того, оно эффективно минимизирует размеры объектов и удаляет мелкие структуры, сохраняя при этом общие формы более крупных.

- **Закрытие:** этот компонент относится к процессам расширения и эрозии, работающим вместе. Закрытие — это распространенная техника, используемая для заделывания небольших отверстий или разрывов в предметах. Закрытие имеет два применения: его можно использовать для ремонта поврежденных зданий и заполнения небольших углублений [21]. Кроме того, закрытие заполняет пространства, соединяет связанные предметы и выравнивает формы объектов.

В. Предлагаемый метод

Метод состоит из набора кодов, которые могут быть написаны на любом языке программирования. Этот метод считывает изображения 2D-карт с расширением .jpg на первом этапе. Во-вторых, этот метод изменяет изображение на изображение в оттенках серого, а затем на бинарное изображение. После этого этот метод повышает степень темноты, когда это необходимо. В-третьих, этот метод определяет все объекты, их формы и размеры на изображении и заключает их в рамки на основе морфологической операции. В-четвертых, этот метод заполняет все объекты, которые были идентифицированы, черным цветом. В конце концов, алгоритмы поиска, такие как PRM, которые использовались в этой работе, смогут распознать изображение карты и найти путь через свободное пространство, избегая препятствий, чтобы достичь своей цели. Этапы предлагаемого метода показаны на рисунке 2, а структурная схема предлагаемого метода показана на рисунке 3.

Вход: 2D-карта изображения
Выход: Распознанная карта по алгоритму поиска
1-Прочитать 2D-карту как изображение.
2- Преобразовать изображение в оттенки серого
3- Преобразовать изображение в оттенках серого в двоичное изображение
4- Определить все элементы внутри изображения
5- Применить расширение и эрозию (морфологическая операция).
6- Найти внешние границы всех элементов на изображении.
7- Найти внутренние границы элементов (шаг 6).
8- Найти внутренние элементы внутри внутренних границ для основных элементов (шаг 6).
9- Исключить как внутренние границы, так и внутренние элементы.
10- С оставшимися границами создать новую бинарную картинку.
11- запрограммированные особенности областей бинарного изображения
12- Создайте карту бинарной занятости.
13- Отобразите карту занятости.

Рис. 2: Этапы метода

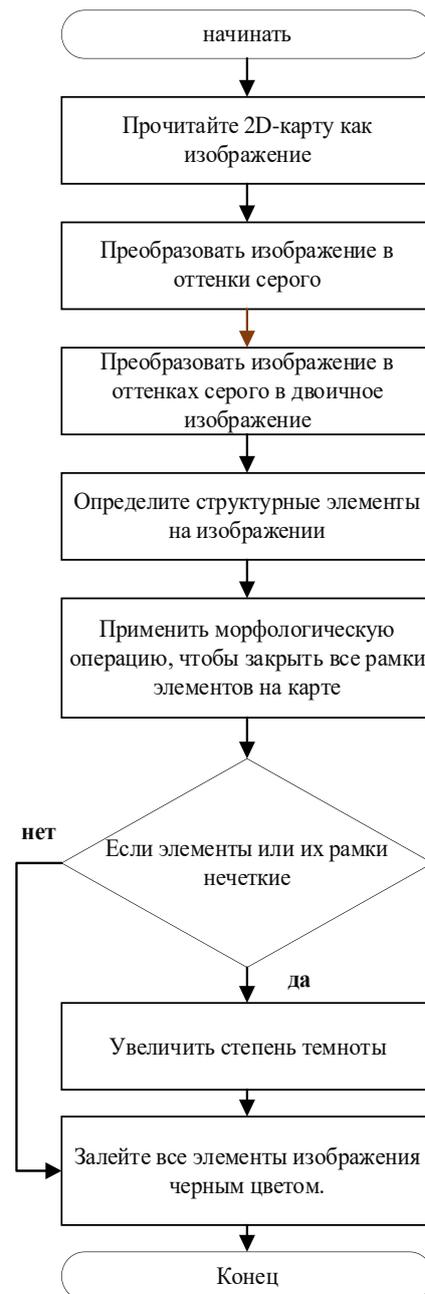


Рис. 3: Блок-схема предлагаемого метода

III. АЛГОРИТМ PRM

Предложенный метод обработки карт был протестирован в этом разделе с использованием алгоритма PRM для планирования пути.

Недавние исследования планирования пути уделили пристальное внимание PRM [22, 23] из-за его простоты использования и способности перемещаться по многомерным конфигурационным пространствам. Три основных шага PRM следующие: (1) создание случайных узлов в свободном конфигурационном пространстве; (2) соединение этих узлов для формирования единого графа путем объединения ребер, пересекающих свободное пространство; и (3) анализ графа для поиска кратчайшего пути между начальным и целевым узлами [24]. На рисунке 4 перечислены этапы PRM.

Вход: Идентифицированная карта и PRM
Выход: Возможный путь
1- Инициализируйте пустой граф G.
2- В пространстве конфигураций сгенерируйте случайные образцы и найдите случаи, когда они сталкиваются с препятствиями.
3- Добавьте образцы без столкновений в граф G
4- Соедините соседние образцы в G с помощью локальных планировщиков и проверьте наличие столкновений
5- Добавьте ребра без столкновений в граф G
6- Повторяйте шаги 2–5, пока в G не будет добавлено достаточное количество образцов и соединений.
7- Используйте алгоритм планирования пути (например, A* или Дейкстры), чтобы найти путь от начала до цели с помощью графа G

Рис. 4. Этапы алгоритма PRM

IV. ЭКСПЕРИМЕНТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Эффективность и осуществимость предлагаемого метода были проверены путем проведения нескольких экспериментов. Эксперименты проводились на ноутбуке с процессором Core (TM) i7-11800H, 16 ГБ оперативной памяти и с использованием языка MATLAB. В экспериментах использовались изображения двух карт с разными размерами и степенью сложности, полученные из Интернета: сложное изображение карты (рисунок 5(a)) и простое изображение карты (рисунок 5(b)). Был проведен этап инициализации, на котором изображения двух карт были нарисованы с помощью AutoCAD (см. рисунки 6(a) и 6(b)), а результаты были сохранены как изображения с расширением .jpg.



Рис. 5(a) Исходная сложная карта

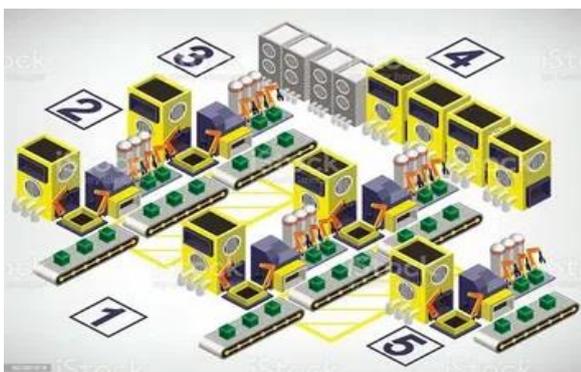


Рис. 5(b) Исходная простая карта

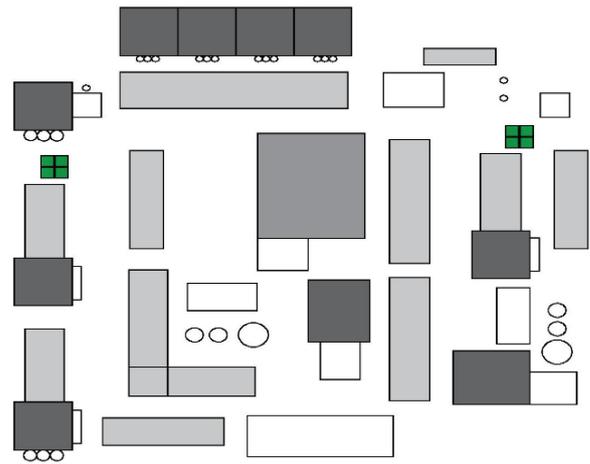


Рис. 6 (a): Сложная карта

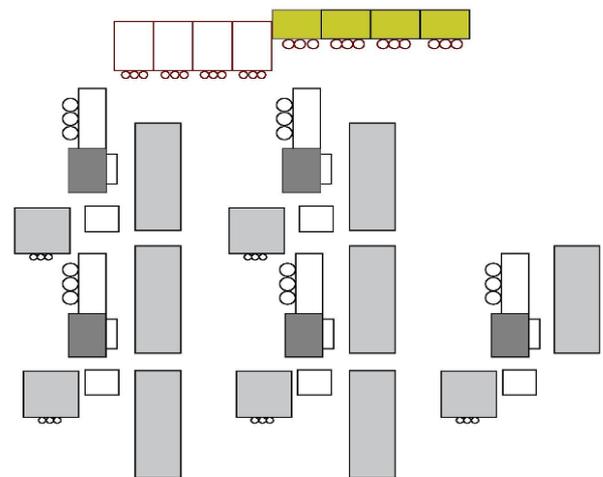


Рис. 6 (б): Простая карта

После выполнения предложенного метода изображение карты обрабатывается и строится таким образом, чтобы сделать его узнаваемым для алгоритмов поиска за несколько шагов, как показано на рисунках 7(a)–(д) для сложной карты, и на рисунках 8(a)–(д) – для простой карты.

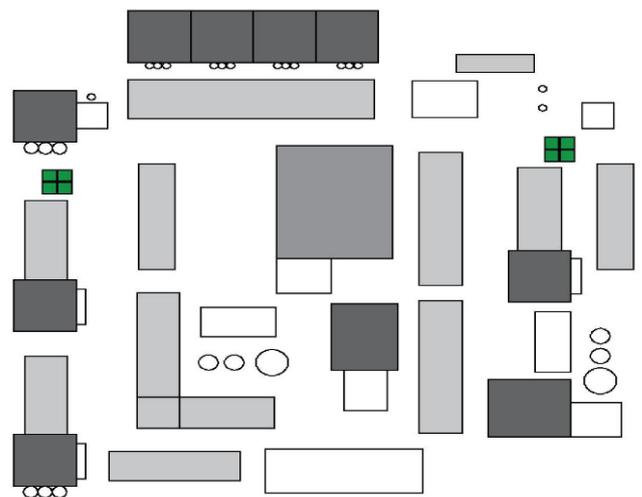


Рис. 7 (a): Чтение изображения карты

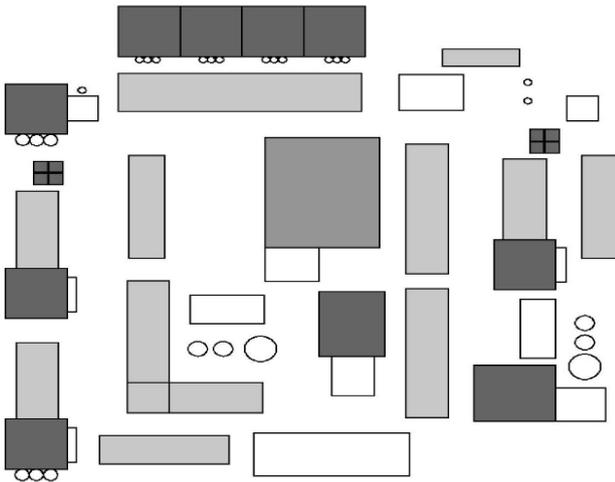


Рис. 7 (б): Преобразование изображения в оттенки серого



Рис. 7 (д): Заполнение всех объектов черным цветом, чтобы гарантировать, что алгоритмы поиска могут идентифицировать их как препятствия

Таким образом, рисунки 7(а)–(д) иллюстрируют этапы обработки изображения сложной карты, а рисунки 8(а)–(д) – простой карты.

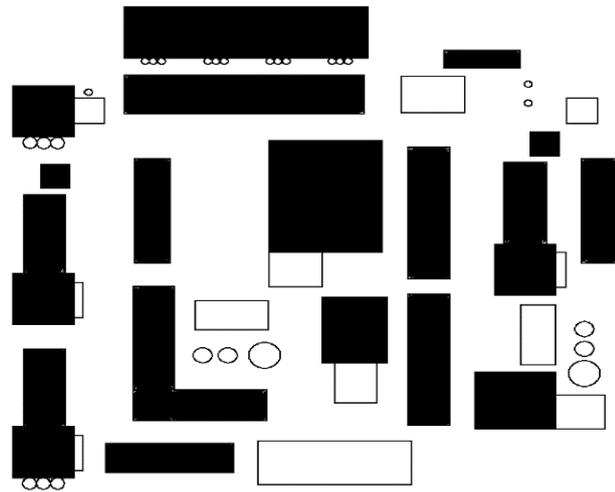


Рис. 7 (в): Применение морфологических операций для нахождения границ на изображении и всех его объектах

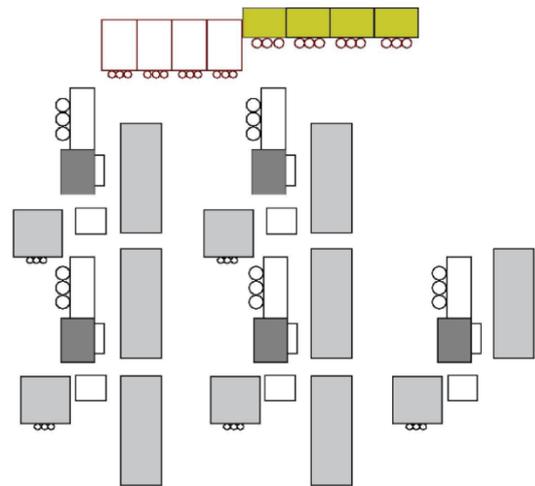


Рис. 8 (а): Чтение изображения карты

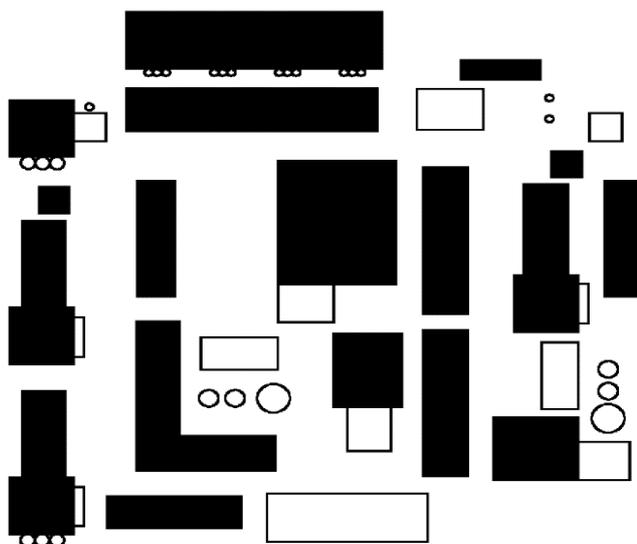


Рис. 7 (г): Включение всех объектов внутрь изображения и затемнение его при необходимости.

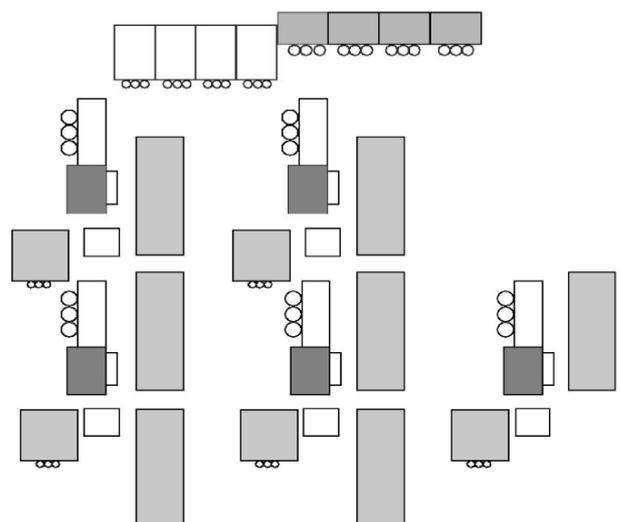


Рис. 8 (б): Преобразование изображения в оттенки серого

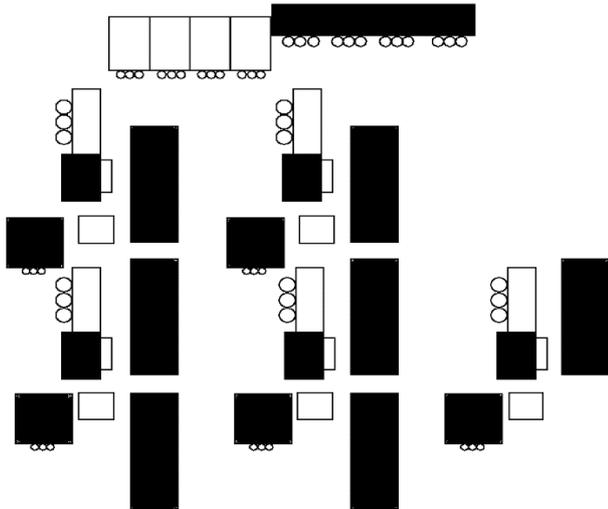


Рис. 8 (в): Применение морфологических операций для нахождения границ на изображении и всех его объектах.

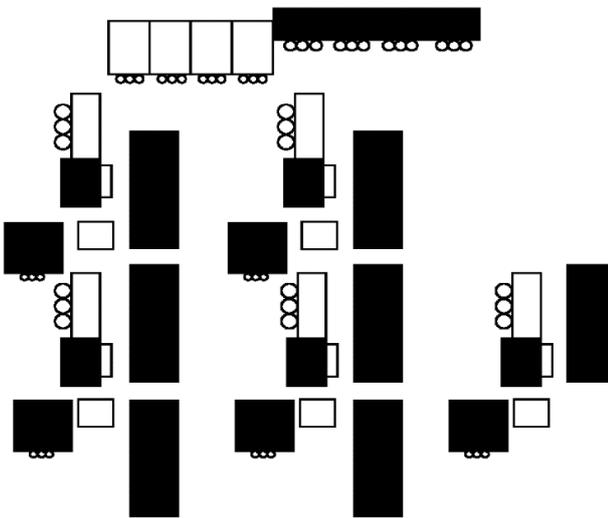


Рис. 8 (г): Включение всех объектов внутрь изображения и затемнение его при необходимости

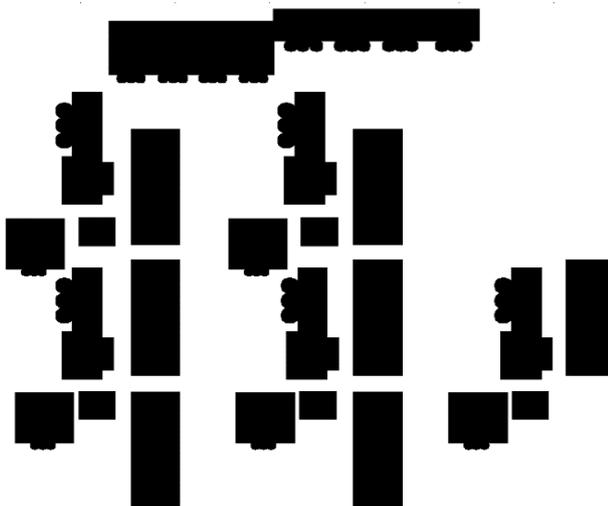


Рис. 8 (д): Заполнение всех объектов черным цветом, чтобы гарантировать, что алгоритмы поиска могут идентифицировать их как препятствия

Алгоритм PRM был применен к обработанным изображениям карт для планирования пути с целью проверки предлагаемого метода. Были выбраны два сценария: на первом этапе – планирование пути для одного робота с одной начальной точкой и одной целевой точкой; во втором сценарии – планирование пути для трех роботов, каждый из которых имеет свою собственную начальную точку и целевую точку на обеих картах. В таблице 1 перечислены параметры PRM, используемые для простых и сложных карт и для обоих сценариев.

Таблица 1. ПАРАМЕТРЫ PRM		
1	Количество узлов	900
2	Количество линий	100

В первом сценарии PRM был применен для сложной карты (рисунок 9) для планирования пути между начальной точкой [2, 1] и целевой точкой [1066, 993] и на простой карте (рисунок 10) между начальной точкой [2, 1] и целевой точкой [1076, 1110]. Во втором сценарии PRM был применен для сложной карты (рисунок 11) для планирования трех путей, каждый из которых имеет разные начальные и целевые точки, и на простой карте (рисунок 12).

Во всех сценариях алгоритм PRM распознавал границы и внутренние объекты двух карт и определял кратчайшие пути между начальной и конечной точками, избегая при этом столкновений с препятствиями.

Каждый сценарий для каждой карты запускался 20 раз для достижения надежных и достоверных результатов, и были рассчитаны средние значения. Среднее время обработки изображений двух карт и среднее время работы алгоритма PRM для обеих карт в двух сценариях представлены в таблице 2.

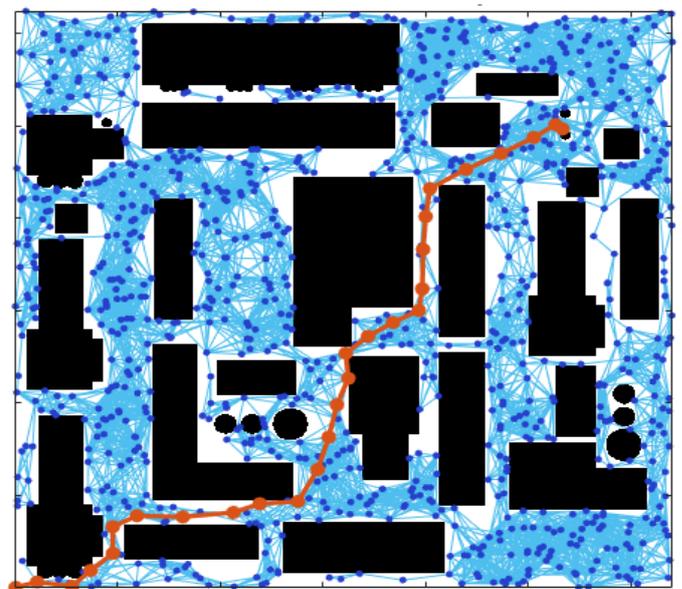


Рис. 9: Одиночный путь с начальной точкой [2, 1] и целевой точкой [1066, 993] на сложной карте

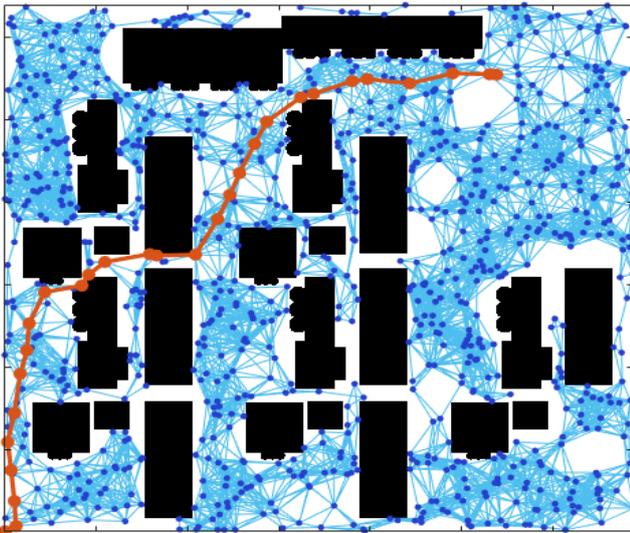


Рис. 10: Одиночный путь с начальной точкой [2, 1] и целевой точкой [1076, 1110] на простой карте



Рис. 11: Три пути с разными начальными и конечными точками на сложной карте

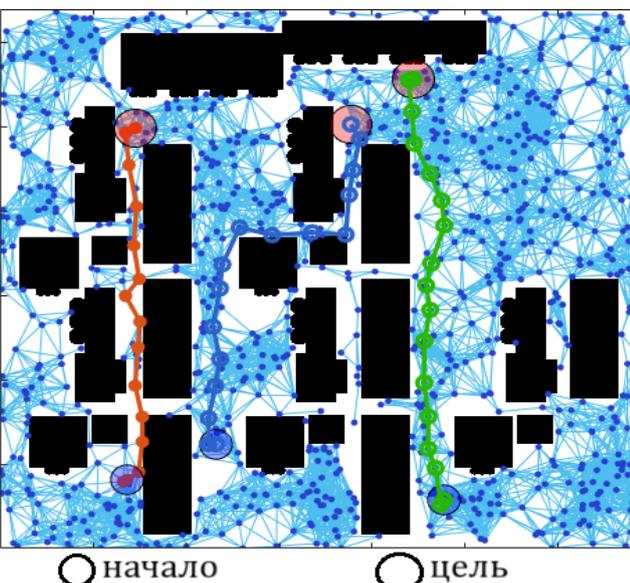


Рис. 12: Три пути с разными начальными и конечными точками на простой карте

Время, необходимое для обработки изображения карты, почти одинаково для двух карт, несмотря на разные размеры и степени сложности карты (таблица 2).

Декомпозиция на основе сетки обычно используется для представления окружающей среды или карты [25], [26]. Скорость обработки этого метода зависит от степени точности, размера карты и ее сложности, что, в свою очередь, сильно влияет на время, необходимое для обработки карт. Напротив, предложенный нами метод продемонстрировал, что размер карты и степень ее сложности не сильно влияют на время, необходимое для обработки карты.

	Первый сценарий (одна цель)		Второй сценарий (три цели)	
	Сложная карта	Простая карта	Сложная карта	Простая карта
Время обработки (с)	1.4925	1.4756	1.5651	1.4387
Время работы PRM (с)	1.8879	1.8674	25.2506	24.1517

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тестирование различных алгоритмов поиска (новых, улучшенных или гибридных) на картах, имитирующих реальные условия, является важной процедурой. Более того, использование этих карт может потребовать дополнительных трудозатрат и времени. Соответственно, был предложен быстрый и эффективный подход, включающий ряд кодов, которые могут быть написаны на любом языке программирования для чтения и обработки 2D-карт. Предложенный метод был оценен с использованием двух карт реалистичных сред, которые различались по размеру и сложности. Кроме того, планирование пути было выполнено с использованием алгоритма вероятностной дорожной карты (PRM). Результаты эксперимента по моделированию показывают эффективность предложенного метода. Алгоритм PRM быстро и эффективно идентифицировал объекты и пустые области на двух картах и успешно спланировал возможный путь между начальной точкой и целью в каждом сценарии. Способность предлагаемого метода эффективно обрабатывать реалистичные карты гарантирует, что метод может быть легко применен к реальным сценариям. Для будущей работы необходимо провести больше экспериментов в различных средах и в различных приложениях, в частности, в таких областях как автономные транспортные средства, дроны и роботизированные системы.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] J. Galarza-Falfan, E. García-Guerrero, O. Aguirre-Castro, O. López-Bonilla, U. Tamayo-Pérez, J. Cárdenas-Valdez, C. Hernández-Mejía, S. Borrego-Dominguez, and E. Inzunza-Gonzalez, "Path Planning for Autonomous Mobile Robot Using Intelligent Algorithms," *Technologies*, vol. 12, no. 6, pp. 82, 2024.
- [2] B. Ciuffo, M. Makridis, V. Padovan, E. Benenati, K. Boriboonsomsin, M. T. Chembakasseril, P. Daras, V. Das, A. Dimou, S. Grammatico, R. Hartanto, M. Hoelscher, Y. Jiang, S. Krilasevic, S. Liu, Q. N. N. Le, C. Rosier, P. Ruan, Z. Wei, G. Wu, X. Zhao and Z. Zhao "Robotic Competitions to Design Future Transport Systems: The Case of JRC AUTOTRAC 2020," *Transportation Research Record*, vol. 2677, no. 2, pp. 1165–1178, August 2022.
- [3] R. Raj and A. Kos, "A comprehensive study of mobile robot: history, developments, applications, and future research perspectives," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 14, pp. 6951, 2022.
- [4] A. Vijayaprabhu, R. Sureshkumar, S. Lakshmisridevi, A. J. M. Rani, G. Rajalakshmi, and S. Jayasree, "Multi-Functional IoT Robot: Exploring the Evaluation of Robot Operations in Military Applications Using Internet of Things," in *2024 IEEE International Conference on Big Data & Machine Learning (ICBDML)*, IEEE, 2024, pp. 192–197.
- [5] R. Ranjan, S. Lee, and J. Kye, "Design of Tactical Multipurpose All-Terrain Mobile Robot," *Int. J. Membr. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 2224–2237, 2023.
- [6] A. Garus, P. Christidis, A. Mourtzouchou, L. Duboz, and B. Ciuffo, "Unravelling the last-mile conundrum: A comparative study of autonomous delivery robots, delivery bicycles, and light commercial vehicles in 14 varied European landscapes," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 108, pp. 105490, 2024.
- [7] M. Cognominal, K. Patronymic, and A. Wańkiewicz, "Evolving Field of Autonomous Mobile Robotics: Technological Advances and Applications," *Fusion Multidiscip. Res. An Int. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 189–200, 2021.
- [8] U. Sharma, U. S. Medasetti, T. Deemyad, M. Mashal, and V. Yadav, "Mobile Robot for Security Applications in Remotely Operated Advanced Reactors," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 6, pp. 2552, 2024.
- [9] M. N. A. Wahab, A. Nazir, A. Khalil, W. J. Ho, M. F. Akbar, M. H. M. Noor and A. S. A. Mohamed, "Improved Genetic Algorithm for Mobile Robot Path Planning in Static Environments," *Expert Systems with Applications*, vol. 249, pp. 123762–123788, September 2024.
- [10] C. Yu, Q. Qiu, and X. Chen, "A hybrid two-dimensional path planning model based on frothing construction algorithm and local fast marching method q," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 39, no. 2, pp. 475–487, 2013, doi: 10.1016/j.compeleceng.2012.09.010.
- [11] Z. Jiao, K. Ma, Y. Rong, P. Wang, H. Zhang, and S. Wang, "A path planning method using adaptive polymorphic ant colony algorithm for smart wheelchairs," *J. Comput. Sci.*, vol. 25, pp. 50–57, 2018, doi: 10.1016/j.jocs.2018.02.004.
- [12] F. H. Ajeil, I. K. Ibraheem, A. T. Azar, and A. J. Humaidi, "Grid-based mobile robot path planning using aging-based ant colony optimization algorithm in static and dynamic environments," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 7, 2020, doi: 10.3390/s20071880.
- [13] D. Agarwal and P. S. Bharti, "Implementing modified swarm intelligence algorithm based on Slime moulds for path planning and obstacle avoidance problem in mobile robots," *Appl. Soft Comput.*, vol. 107, pp. 107372, 2021, doi: 10.1016/j.asoc.2021.107372.
- [14] N. Qingbin, "Research on robot obstacle avoidance and path tracking under dynamically unknown environment," *Proc. 2017 IEEE 2nd Adv. Inf. Technol. Electron. Autom. Control Conf. IAEAC 2017*, pp. 2607–2610, 2017, doi: 10.1109/IAEAC.2017.8054496.
- [15] R. Sarkar, D. Barman, and N. Chowdhury, "Domain knowledge based genetic algorithms for mobile robot path planning having single and multiple targets," *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 7, pp. 4269–4283, 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2020.10.010.
- [16] P. Maragos, "Differential morphology and image processing," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 5, no. 6, pp. 922–937, 1996.
- [17] X. Xu, Z. Yu, W.-Y. Chen, A. Chen, A. Motta, and X. Wang, "Automated analysis of grain morphology in TEM images using convolutional neural network with CHAC algorithm," *J. Nucl. Mater.*, vol. 588, pp. 154813, 2024.
- [18] S. Bhutada, N. Yashwanth, P. Dheeraj, and K. Shekar, "Opening and closing in morphological image processing," *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 14, no. 3, pp. 687–695, 2022.
- [19] K. Do and J. Yoo, "Morphological response to storms in an embayed beach having limited sediment thickness," *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 234, pp. 106636, 2020.
- [20] C. Zhengzheng, Y. Xiangqian, Z. Peiding, L. Zhenhua, D. Feng, W. Wenqiang and C. Huanqi, "Experimental Study on the Fracture Surface Morphological Characteristics and Permeability Characteristics of Sandstones with Different Particle Sizes," *Energy Sci. Eng.*, vol. 12, no. 7, pp. 2798–2809, July 2024.
- [21] X. Zang, Z. Qiu, H. Zhong, X. Zhao, P. Guo, W. Gao and Y. Lin, "Fracture Surface Morphology Characterization and Its Influence on Plugging Performance of Granular Lost Circulation Materials," *Geoenergy Science and Engineering*, vol. 230, pp. 212189–212202, November 2022.
- [22] J. C. Mohanta and A. Keshari, "A knowledge based fuzzy-probabilistic roadmap method for mobile robot navigation," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 79, pp. 391–409, 2019, doi: 10.1016/j.asoc.2019.03.055.
- [23] S. Sabeeh and I. S. Al-furati, "Efficient Path Planning in Medical Environments : Integrating Genetic Algorithm Efficient Path Planning in Medical Environments : Integrating Genetic Algorithm and Probabilistic Roadmap (GA-PRM) for Autonomous Robotics," no. August, 2024, doi: 10.37917/ijee.20.2.21.
- [24] J. Zhenga, J. Caoa, B. Zhanga, Y. Zhang, W. Chena, Y. Daia and J. Zhaoa, "Path Planning of PRM Based on Artificial Potential Field in Radiation Environments," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 208, pp. 110776–110794, December 2024.
- [25] A. Meysami, S. Kelouwani, J.-C. Cuilliere, V. Francois, A. Amamou, and B. Allani, "An efficient indoor large map global path planning for robot navigation," *Expert Syst. Appl.*, vol. 248, p. 123388, 2024.
- [26] J. Zhao, C. Deng, H. Yu, H. Fei, and D. Li, "Path planning of unmanned vehicles based on adaptive particle swarm optimization algorithm," *Comput. Commun.*, vol. 216, pp. 112–129, 2024.

Dynamic processing of 2D maps used by search algorithms for trajectory planning

Shaymaa Alzubairi, Alexander Petunin, Hussam Alwan

Abstract - Path planning has drawn a lot of attention in robotics research. Numerous algorithms have been developed to overcome path planning's challenges. Seldom do researchers test algorithms on reality-like maps; instead, they test algorithms on randomly and regularly programmed maps. Because realistic maps can have a variety of obstacles with varying sizes and forms as well as sharp corners, they are highly dependable for testing algorithms. In the meanwhile, morphological operations and image processing domains might be the focus of research when genuine maps are used. These maps can also be time-consuming and require extra work to create. This paper suggests a straightforward and dynamic approach to effectively read and process 2D maps so that different algorithms can recognize them. Simulations were conducted on two realistic maps to demonstrate the merits of the proposed method, and the probabilistic roadmap (PRM) algorithm was chosen to plan a path on these maps. In all simulations, the proposed method successfully read and processed the map in an average of 1.50 s. Moreover, PRM quickly recognized boundaries, obstacles, and free space on the maps and planned a collision-free route from the starting point to the destination.

Keywords: search algorithm, morphological operations, image processing, map construction

REFERENCES

- [1] J. Galarza-Falfan, E. García-Guerrero, O. Aguirre-Castro, O. López-Bonilla, U. Tamayo-Pérez, J. Cárdenas-Valdez, C. Hernández-Mejía, S. Borrego-Dominguez, and E. Inzunza-Gonzalez, "Path Planning for Autonomous Mobile Robot Using Intelligent Algorithms," *Technologies*, vol. 12, no. 6, pp. 82, 2024.
- [2] B. Ciuffo, M. Makridis, V. Padovan, E. Benenati, K. Boriboonsomsin, M. T. Chembakasseril, P. Daras, V. Das, A. Dimou, S. Grammatico, R. Hartanto, M. Hoelscher, Y. Jiang, S. Krilasevic, S. Liu, Q. N. N. Le, C. Rosier, P. Ruan, Z. Wei, G. Wu, X. Zhao and Z. Zhao "Robotic Competitions to Design Future Transport Systems: The Case of JRC AUTOTRAC 2020," *Transportation Research Record*, vol. 2677, no. 2, pp. 1165–1178, August 2022.
- [3] R. Raj and A. Kos, "A comprehensive study of mobile robot: history, developments, applications, and future research perspectives," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 14, pp. 6951, 2022.
- [4] A. Vijayaprabhu, R. Sureshkumar, S. Lakshmisridevi, A. J. M. Rani, G. Rajalakshmi, and S. Jayasree, "Multi-Functional IoT Robot: Exploring the Evaluation of Robot Operations in Military Applications Using Internet of Things," in *2024 IEEE International Conference on Big Data & Machine Learning (ICBDML)*, IEEE, 2024, pp. 192–197.
- [5] R. Ranjan, S. Lee, and J. Kye, "Design of Tactical Multipurpose All-Terrain Mobile Robot," *Int. J. Membr. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 2224–2237, 2023.
- [6] A. Garus, P. Christidis, A. Mourtzouchou, L. Duboz, and B. Ciuffo, "Unravelling the last-mile conundrum: A comparative study of autonomous delivery robots, delivery bicycles, and light commercial vehicles in 14 varied European landscapes," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 108, pp. 105490, 2024.
- [7] M. Cognominal, K. Patronymic, and A. Wańkiewicz, "Evolving Field of Autonomous Mobile Robotics: Technological Advances and Applications," *Fusion Multidiscip. Res. An Int. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 189–200, 2021.
- [8] U. Sharma, U. S. Medasetti, T. Deemyad, M. Mashal, and V. Yadav, "Mobile Robot for Security Applications in Remotely Operated Advanced Reactors," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 6, pp. 2552, 2024.
- [9] M. N. A. Wahab, A. Nazir, A. Khalil, W. J. Ho, M. F. Akbar, M. H. M. Noor and A. S. A. Mohamed, "Improved Genetic Algorithm for Mobile Robot Path Planning in Static Environments," *Expert Systems with Applications*, vol. 249, pp. 123762–123788, September 2024.
- [10] C. Yu, Q. Qiu, and X. Chen, "A hybrid two-dimensional path planning model based on frothing construction algorithm and local fast marching method q," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 39, no. 2, pp. 475–487, 2013, doi: 10.1016/j.compeleceng.2012.09.010.
- [11] Z. Jiao, K. Ma, Y. Rong, P. Wang, H. Zhang, and S. Wang, "A path planning method using adaptive polymorphic ant colony algorithm for smart wheelchairs," *J. Comput. Sci.*, vol. 25, pp. 50–57, 2018, doi: 10.1016/j.jocs.2018.02.004.
- [12] F. H. Ajeil, I. K. Ibraheem, A. T. Azar, and A. J. Humaidi, "Grid-based mobile robot path planning using aging-based ant colony optimization algorithm in static and dynamic environments," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 7, 2020, doi: 10.3390/s20071880.
- [13] D. Agarwal and P. S. Bharti, "Implementing modified swarm intelligence algorithm based on Slime moulds for path planning and obstacle avoidance problem in mobile robots," *Appl. Soft Comput.*, vol. 107, pp. 107372, 2021, doi: 10.1016/j.asoc.2021.107372.
- [14] N. Qingbin, "Research on robot obstacle avoidance and path tracking under dynamically unknown environment," *Proc. 2017 IEEE 2nd Adv. Inf. Technol. Electron. Autom. Control Conf. IAEAC 2017*, pp. 2607–2610, 2017, doi: 10.1109/IAEAC.2017.8054496.
- [15] R. Sarkar, D. Barman, and N. Chowdhury, "Domain knowledge based genetic algorithms for mobile robot path planning having single and multiple targets," *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 7, pp. 4269–4283, 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2020.10.010.
- [16] P. Maragos, "Differential morphology and image processing," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 5, no. 6, pp. 922–937, 1996.
- [17] X. Xu, Z. Yu, W.-Y. Chen, A. Chen, A. Motta, and X. Wang, "Automated analysis of grain morphology in TEM images using convolutional neural network with CHAC algorithm," *J. Nucl. Mater.*, vol. 588, pp. 154813, 2024.
- [18] S. Bhutada, N. Yashwanth, P. Dheeraj, and K. Shekar, "Opening and closing in morphological image processing," *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 14, no. 3, pp. 687–695, 2022.
- [19] K. Do and J. Yoo, "Morphological response to storms in an embayed beach having limited sediment thickness," *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 234, pp. 106636, 2020.
- [20] C. Zhengzheng, Y. Xiangqian, Z. Peiding, L. Zhenhua, D. Feng, W. Wenqiang and C. Huanqi, "Experimental Study on the Fracture Surface Morphological Characteristics and Permeability Characteristics of Sandstones with Different Particle Sizes," *Energy Sci. Eng.*, vol. 12, no. 7, pp. 2798–2809, July 2024.
- [21] X. Zang, Z. Qiu, H. Zhong, X. Zhao, P. Guo, W. Gao and Y. Lin, "Fracture Surface Morphology Characterization and Its Influence on Plugging Performance of Granular Lost Circulation Materials," *Geoenergy Science and Engineering*, vol. 230, pp. 212189–212,202, November 2022.
- [22] J. C. Mohanta and A. Keshari, "A knowledge based fuzzy-probabilistic roadmap method for mobile robot navigation," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 79, pp. 391–409, 2019, doi: 10.1016/j.asoc.2019.03.055.
- [23] S. Sabeeh and I. S. Al-furati, "Efficient Path Planning in Medical Environments : Integrating Genetic Algorithm Efficient Path Planning in Medical Environments : Integrating Genetic Algorithm and Probabilistic Roadmap (GA-PRM) for Autonomous Robotics," no. August, 2024, doi: 10.37917/ijeee.20.2.21.
- [24] X. Zhenga, J. Caoa, B. Zhanga, Y. Zhang, W. Chena, Y. Daia and J. Zhaoa, "Path Planning of PRM Based on Artificial Potential Field in Radiation Environments," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 208, pp. 110776–110794, December 2024.

- [25] A. Meysami, S. Kelouwani, J.-C. Cuilliere, V. Francois, A. Amamou, and B. Allani, "An efficient indoor large map global path planning for robot navigation," *Expert Syst. Appl.*, vol. 248, p. 123388, 2024.
- [26] J. Zhao, C. Deng, H. Yu, H. Fei, and D. Li, "Path planning of unmanned vehicles based on adaptive particle swarm optimization algorithm," *Comput. Commun.*, vol. 216, pp. 112–129, 2024.