

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ ВОПРОСОВ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

P-ISSN: 2181-3086

E-ISSN: 2181-3094

Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

WEB: <https://ijdt.uz/index.php/ijdt>



## АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАПЕЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

*\*Аброр Бурибаев<sup>1</sup>, Джамшид Султанов<sup>1</sup>, Акмал Жониев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ташкентский университет информационных технологий имени  
Мухаммада ал-Хоразмий, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Университет Зармед, Самарканд, Узбекистан

\*wolfsonabrор@gmail.com

**Цитирование:** Бурибаев А.Ш., Султанов Дж.Б., Жониев А.Ш. (2024). Алгоритм планирования пути на основе параметров трапеции для исследования мобильных роботов. Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий, 7(3), -С. 84-91. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i3.200>

Дата поступления: 06.06.2024

Дата принятия: 26.06.2024

Дата печати: 30.09. 2024

DOI: <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i3.200>

УДК 519.6

## АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАПЕЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

\*Бурибаев А.Ш.<sup>1</sup>, Султанов Дж.Б.<sup>1</sup>, Жониев А.Ш.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский университет информационных технологий имени

Мухаммада ал-Хоразмий, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Университет Зармед, Самарканд, Узбекистан

\*wolfsonabror@gmail.com

**Аннотация.** Исследование незнакомой среды с помощью мобильного робота во время процессов SLAM представляет собой фундаментальную задачу. В этом исследовании представлена расширенная итерация алгоритма Rmap путем модификации его подмодуля Exploration. Хотя предыдущий алгоритм Rmap эффективно снижает накладные расходы на сеточную карту, его модуль исследования требует больших затрат из-за алгоритма следования прямоугольнику. Чтобы преодолеть это ограничение, введен новый алгоритм автономного планирования пути мобильных роботов в неизвестных условиях. Новый алгоритм использует концепцию парных границ для облегчения эффективной навигации и расширения области исследования робота. В каждом раунде исследования мобильный робот использует диапазон своих датчиков для определения границ. Периодически регулируя диапазон датчика, алгоритм генерирует пары внутренних границ. Рассчитывается длина каждой границы и соответствующей пары, что позволяет новому алгоритму выбрать целевую точку для навигации робота.

Результаты экспериментов демонстрируют эффективность и применимость нового алгоритма с точки зрения времени исследования и расстояния. По сравнению с предыдущими алгоритмами новый алгоритм обеспечивает значительные улучшения. Расстояние пути, необходимое для завершения всего исследования, уменьшается на 15–69 %, а затраты времени уменьшаются на 12–86 %. Эти результаты подчеркивают эффективность предлагаемого алгоритма в оптимизации процесса исследования мобильных роботов в неизвестных средах.

**Ключевые слова:** алгоритм, планирование пути, мобильные роботы, алгоритм Rmap.

### I. ВВЕДЕНИЕ

Планирование пути определяет навигацию мобильного робота в неизвестной среде. С помощью таких алгоритмов робот достигает к пункту назначения. Автономные роботы имеют потенциал сокращать ошибку человеческого фактора и причину столкновений. Эти автономные роботы должны безопасно и эффективно передвигаться из А точки в В точку сокращая время, энергию и дистанцию. При выполнении этих задач автономные роботы одновременно выполняет картографирование и локализацию в неизвестной среде, обнаружение и обход препятствий [1-4].

Мобильные роботы разделены на три модуля таких как, восприятие информации, планирование путей и контроль движений. Планирование путей является мостом между модулями восприятия информации и контроль движений. Самой важной задачей для робота это планирование пути, и оно имеет три ключевые аспекты. Траектория робота должна начинаться с указанной точки и заканчиваться в назначенной

точке. Робот должен избегать столкновения с препятствием. Путь робота всегда должен быть оптимально запланирован.

В настоящее время имеется традиционные и эвристические алгоритмы в области планирования пути. Они характерно разделены на статическую и динамическую среду. Ещё имеется глобальные алгоритмы планирования пути, которое обладает информацией о среде, и локальные планирование пути в недостаточных условиях информации об окружающей среде [4].

Многие исследователи предложили разные подходы для решения планирования пути. Среди них популярны алгоритмы на основе графов, деревьев декомпозиции ячеек, потенциальных полей, стратегии оптимизации и искусственные интеллекты на основе поведенческие методы. В современном время алгоритмы планирования пути в неизвестной среде включает в себя несколько задач, таких как, поиск пути, оптимальное решение выбора границ, локализацию, картографирование и объезд препятствий. Условно их можно разделить на три типа:

- Случайный обход: этот подход предполагает движение вперед до тех пор, пока не встретится препятствие, а затем случайный выбор направления поворота для продолжения исследования. Однако этот метод требует значительных затрат времени, энергии и охватывает большие расстояния [5];

- Поиск пути на основе моделей окружающей среды. Этот тип исследования основан на моделях окружающей среды, таких как карты сетки и декомпозиция ячеек. Окружающая среда делится на регионы, представленные сетками или ячейками, и поиск пути для исследования выполняется на основе этих опорных точек сетки или ячеек [6-8];

- Обход на основе датчиков без предварительных данных об окружающей среде: в этих подходах используются алгоритмы для управления навигацией робота на основе данных датчиков в реальном времени, полученных от лазерных устройств или камер. Это позволяет роботу исследовать неизвестные среды без предварительной информации [9-10].

За последние три десятилетия исследователи изучили широкий спектр методов, подпадающих под эти три категории, и все они связаны с автономной навигацией и исследованием неизвестных сред. Брюс и др. [11] предложил алгоритм планирования пути, который использует быстрое исследование случайных деревьев. Их метод включает в себя кэш путейых точек и адаптивное планирование пути поиска стоимости. Джадиди и др. [12] предложили алгоритм онлайн-картографии на основе гауссовского процесса (GP), который обеспечивает отображение модели непрерывной неопределенности пространственных координат. Вместо двоичных значений концепция представления геометрических границ, полученных на основе карт занятости, была распространена на карты вероятностных границ, эффективно вычисляемые с использованием градиента карты занятости GP. Также был введен жадный метод исследования, основанный на взаимной информации, учитывающий все возможные будущие наблюдения. Этот подход к выводу многомерной карты требует небольшого количества наблюдений, что приводит к быстрому уменьшению энтропии карты в процессе картографирования. Оценки с использованием доступных наборов данных продемонстрировали эффективность предложенной структуры для картографирования роботов и исследовательских задач.

Лю и др. [13] представили метод разведки, основанный на топологии сеточной гибридной

карты. Метод генерировал целевые точки на основе правил геометрии и строил узел топологии. Чжан и др. [14] предложили метод внутренней навигации на основе топологической и семантической сетки, использующий естественный язык для выбора целевой точки. Этот метод повысил безопасность, эффективность и надежность навигации мобильных роботов. Тунггал и др. [15] представили алгоритм преследования, использующий метод разложения ячеек для планирования пути робота и алгоритм нечеткого вывода для планирования пути. Исследователи утверждают, что алгоритм находит минимальный путь, избегая препятствий, сводя к минимуму время, необходимое для достижения пункта назначения. Ван и др. [16] предложили новый метод автономного планирования пути для исследования неизвестных сред с использованием графовой структуры. Исследователи разработали стратегию выборки для равномерного получения случайных точек в интересующей среде для построения дорожной карты. Эта дорожная карта эффективно находит глобальный путь от текущего местоположения робота до целевой области. Глобальный путь дополнительно оптимизируется с использованием метода оптимизации траектории с учетом ограничений движения робота. Оценка стоимости пути используется для выбора следующей лучшей целевой области с использованием функции стоимости коммунальных услуг, которая учитывает как стоимость пути, так и информацию, полученную из потенциальной целевой области. Кроме того, представлен механизм перенацеливания для оценки целевой области и снижения дополнительных затрат на путь.

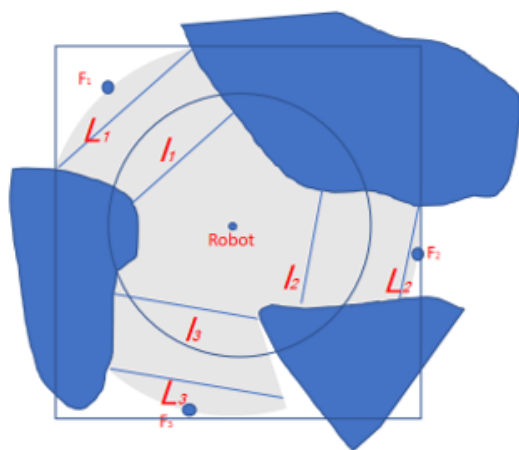
Ченг и др. [17] представили новый алгоритм локализации и навигации с использованием построения топологической карты. Они разработали прогрессивный байесовский классификатор, основанный на кривой глубины, полученной с помощью 3D-датчика, для прямой идентификации типа коридора. Множественные наблюдения объединяются для достижения более надежных характеристик вместо того, чтобы полагаться на одно наблюдение. Они предложили создать топологическую карту и методы замыкания цикла для построения карты неизвестных сред. Сенаратне и др. [18] предложили эффективный в вычислительном отношении подход, который обрабатывает локально обновляемые картографические данные для создания безопасной и надежной информации о границах. Они решили две задачи: постепенное обновление базы данных границ между

неизвестными и картируемыми ячейками, безопасными для робота, и определение достижимости границ в базе данных. Достигнутые границы выделяются контурами границ. Дугарьев и др. [19] представили метод разложения клеток для неизвестных прямолинейных сред с использованием лазерных датчиков для обнаружения критических краев. Алгоритм проверяет избыточность запланированного пути для выбора целевой точки. Лу и др. [20] представили алгоритм исследования границ на основе датчика RGB-D в неструктурированной среде. Среда делится с помощью Octomap, и лучшая граница выбирается на основе функции стоимости получения информации. Цзян и др. [21] представили лазерный алгоритм SLAM, использующий восемь направлений окружающей среды и вычисляющий вероятность их вектора

пути. Основываясь на требованиях исследования, робот планирует следующую целевую точку.

## II. МЕТОДИКА ВЫБОРА ГРАНИЦ

Целью данного исследования является разработка автономного подхода к планированию пути для исследования мобильных роботов в сложных внутренних условиях. Основная часть алгоритма планирования пути — это алгоритм, который необходимо точно определить, в нашем случае это выбор границы. Для проведения вычислений по выбору лучшей границы мы предлагаем определить параметры границы. Для этого мы используем параметр трапеции. Параметр трапеции —  $t[n]$  — это значение обратной трапециевидной формы области относительно робота. Параметр трапеции показан на рисунке 1.



Диапазон значений:  $[-1, 0, 1]$ , где  $l_n > L_n = -1$ ,  $l_n = L_n = 0$  и  $l_n < L_n = 1$

Границы	$l$ - значение
F1	1
F2	-1
F3	0

Рис. 1. Генерация параметров трапеции

В каждом раунде исследования алгоритма робот начинает получать данные от дальномера. На основе полученных исходных данных роботы определяют границы  $F[N]$ , как показано на рисунке 1. Эти границы называются внешними границами. После этого робот начинает обработку алгоритмов Rmap, то есть с помощью алгоритма обработки прямоугольника робот генерирует самый большой прямоугольник среди препятствий [22]. На следующем этапе алгоритм начинает определять параметры трапеции, чтобы определить, по какой границе лучше всего двигаться вперед. Здесь алгоритм определяет параметр трапеции  $t[n]$ , используя внутренние и внешние границы, соответственно  $f[n]$  и  $F[n]$ . На предыдущем шаге робот определил границы  $F[N]$ . Затем с помощью жадного алгоритма дальность действия датчика робота шаг за шагом увеличивает дальномер от минимума до максимума, одновременно

вычисляя количество определяемых границ  $f[n]$  на каждом раунде, как показано на рисунке 1, т. е. алгоритм определяет внутреннюю по паре каждой внешней границы. Когда количество Внешних и Внутренних границ сравняется, процесс увеличения дальности действия сенсора будет остановлен. После измерения каждой границы submodule сравнивает все границы с соответствующими парами. То есть, если размер границы внутреннего слоя  $f[n]$  меньше, чем размер границы внешнего слоя  $F[n]$ , то есть, образуется четырехугольник в виде обратной трапеции, тогда этот параметр  $t[n]$  получает значение 1. Если внутренняя граница  $f[n]$  равна соответствующей внешней границе  $F[n]$  или превышает соответствующую внешнюю границу, то значение параметра трапеции  $t[n]$  будет равно -1 и 0 соответственно, как показано в Таблице 1. Рисунок 1 иллюстрирует расчет параметров трапеции [4]. Большинство исследователей используют внешние границы

для выбора оптимальной границы, в нашей работе мы создали внутренние границы для оценки более информативной границы. Выбор оптимальной границы зависит от преобразующего четырёхугольника. Мы учим робота на то что если форма границы имеет форму обратной трапеции относительно к стороне робота, то эта граница имеет большую площадь, которую рекомендуется исследовать робот на следующем этапе.

На заключительном этапе все параметры каждой границы будут суммированы, и граница, имеющая максимальное значение, будет выбрана как лучшая граница для исследования в следующем раунде.

Стратегия планирования пути, основанная на этой политике движения, сводит к минимуму расстояние пути исследования и время в пути [4].

### III. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Чтобы оценить возможности автономного исследования робота, мы провели смоделированные эксперименты в трех различных типах

сред. Результаты эксперимента, проведенного в нециклической среде, представлены на рис. 2. Мы сравнили предложенный нами алгоритм с двумя другими алгоритмами разведки. Первый алгоритм использовал функцию стоимости для выбора лучшей границы, как было предложено Гомесом [23], а второй алгоритм представлял собой алгоритм планирования пути Rmap, предложенный Ли [22]. Ключевое различие между предложенным нами алгоритмом и этими двумя стратегиями заключается в создании и вычислении внутренних и внешних границ для планирования пути с целью выбора оптимальной границы. Все три алгоритма были оценены в идентичных условиях с использованием мобильного робота.

В таблице 1 представлен полный обзор расстояния пути исследования и количества предпринятых шагов, что позволяет провести четкое сравнение предлагаемого метода и предыдущих методов [22, 23]. Важно отметить, что все стратегии способны обеспечить полный охват геологоразведочными работами.

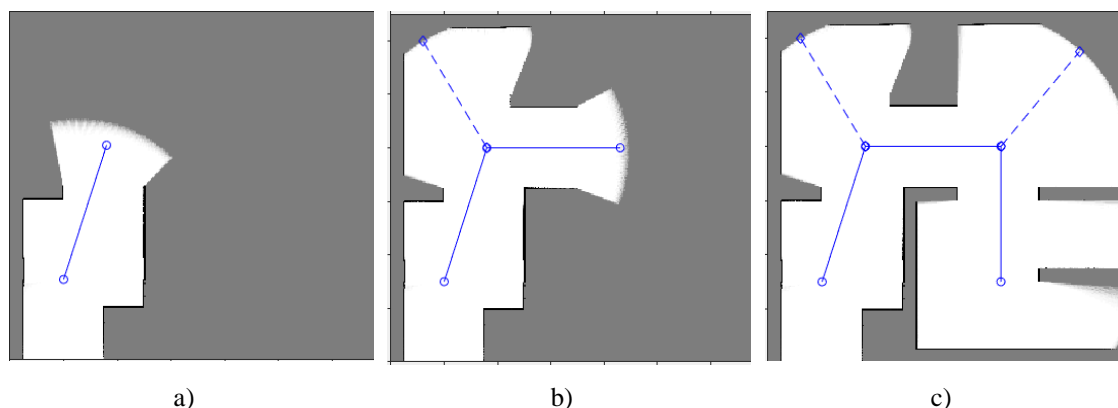


Рис. 2. Путь робота в нециклической моделируемой среде: (а) первый и второй этапы, (б) третий этап, (с) последний этап

Кроме того, в таблице 2 представлены основные показатели в двух разных средах, включая количество шагов исследования, количество точек поворота, расстояние прохождения и затраченное время. Эффективность предлагаемого метода планирования пути напрямую связана с затратами времени и длиной пути робота. Меньшее количество шагов указывает на более простой процесс навигации с меньшим количеством целевых точек, а расстояние прохождения отражает фактическое расстояние, пройденное роботом во время исследования.

Кроме того, мы провели эксперименты по новой стратегии планирования пути в большой

моделируемой среде, изображенной на рис. 3. Процесс исследования и траектории навигации робота с использованием трех различных алгоритмов планирования пути проиллюстрированы на рис. 3. На рис. 3а и рис. 3б синие линии обозначают траектории движения робота, а точки в кружках представляют собой целевые точки, созданные во время исследования. Траектория, которой следует Rmap, отличается от нового алгоритма и граничных алгоритмов, основанных на функции стоимости, как показано на рис. 1 с. Траектория Rmap представлена прямоугольниками.

Таблица 1. Результаты экспериментов по этапам разведки и расстояниям трассы

Окружающая среда	Этапы исследования		
	Rmap+	Альтернатива 1	Альтернатива 2
Окружающая среда 1	P <sub>1</sub> =5	P <sub>1</sub> =5	P <sub>1</sub> =22
	P <sub>2</sub> =5	P <sub>2</sub> =5	P <sub>2</sub> =11
	P <sub>3</sub> =3	P <sub>3</sub> =5	P <sub>3</sub> =22
	P <sub>4</sub> =5	P <sub>4</sub> =5	P <sub>4</sub> =24
	P <sub>5</sub> =10	P <sub>5</sub> =5	P <sub>5</sub> =11
	P <sub>6</sub> =10	P <sub>6</sub> =10	P <sub>6</sub> =27
		P <sub>7</sub> =5	
		P <sub>8</sub> =15	
	<b>Total 38m</b>	<b>Total 55m</b>	<b>Total 114 m</b>
Окружающая среда 2	P <sub>1</sub> =5	P <sub>1</sub> =5	P <sub>1</sub> =18
	P <sub>2</sub> =5	P <sub>2</sub> =5	P <sub>2</sub> =17
	P <sub>3</sub> =5	P <sub>3</sub> =5	P <sub>3</sub> =14
	P <sub>4</sub> =5	P <sub>4</sub> =5	P <sub>4</sub> =16
		P <sub>5</sub> =8	P <sub>5</sub> =15
		P <sub>6</sub> =5	P <sub>6</sub> =24
		P <sub>7</sub> =8	P <sub>7</sub> =14
			P <sub>8</sub> =22
	<b>Total 20m</b>	<b>Total 51m</b>	<b>Total 140m</b>

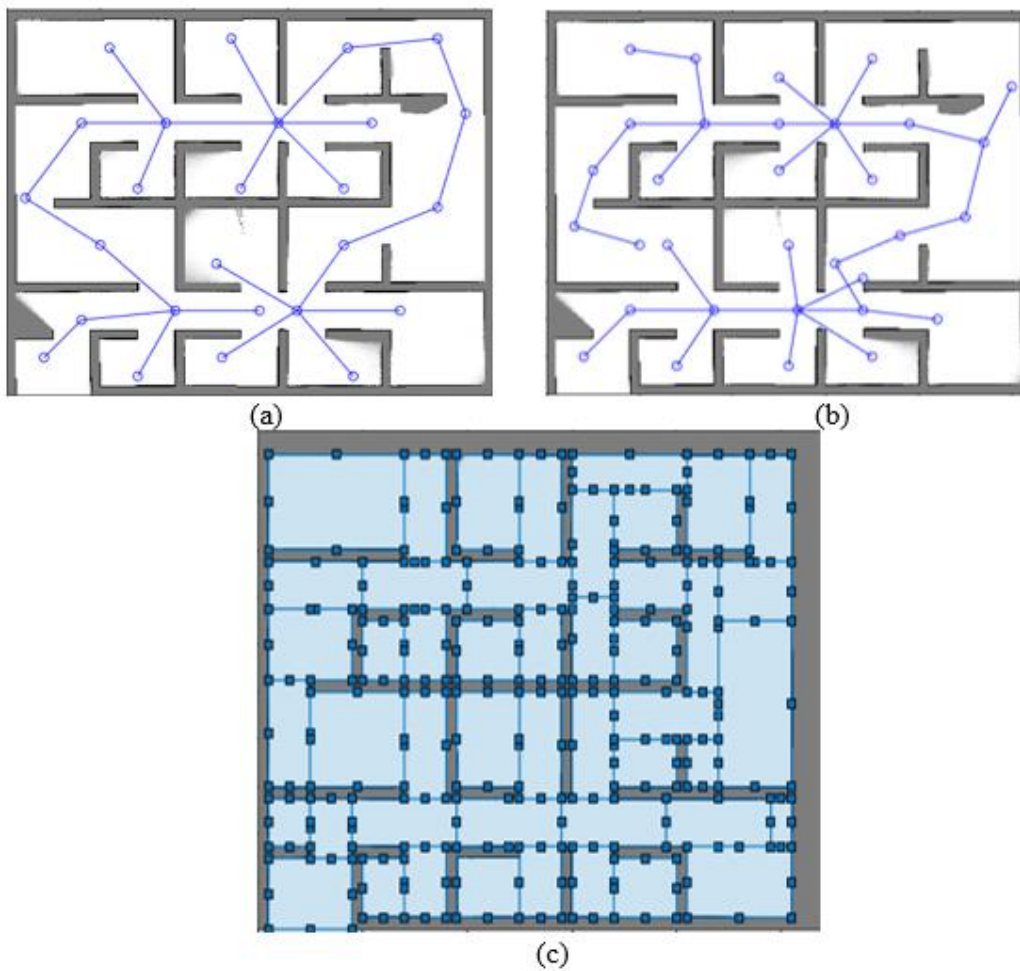


Рис. 3. Траектория робота во время моделируемых экспериментов в широкой среде

В табл. 2 представлены результаты, полученные в результате имитационных экспериментов. Хотя все три стратегии способны создать полную карту окружающей среды, ключевыми показателями для оценки являются время исследования, количество поворотных

точек, зона покрытия и расстояние путешествия. Количество точек поворота напрямую влияет на эффективность процесса исследования, а также на общее расстояние навигации, преодолеваемое роботом.

Таблица 2. Результаты сравнения в трех средах

Типы сред	Алгоритм	Поворотные моменты	Зона покрытия	Расстояние исследования	Время исследования
Широкая циклическая среда	Предлагаемый алгоритм	47	100 %	233 m	634 sec
	Границы, основанные на функции стоимости	51	100 %	275 m	722 sec
	Планирование пути Rmap	176	100 %	454 m	1480 sec
Небольшая циклическая среда	Предлагаемый алгоритм	5	97 %	38 m	108 sec
	Границы, основанные на функции стоимости	8	100 %	55 m	186 sec
	Планирование пути Rmap	36	100 %	114 m	356 sec
Малая нециклическая среда	Предлагаемый алгоритм	9	95 %	40 m	56 sec
	Границы, основанные на функции стоимости	9	97 %	51 m	144 sec
	Планирование пути Rmap	42	100 %	131 m	407 sec

Таблица 2 показывает, что предложенный алгоритм обеспечивает более быстрое исследование и более короткое расстояние обхода во всех трех типах сред по сравнению с предыдущими стратегиями [22, 23]. В широкой среде новый алгоритм превосходит граничный алгоритм, основанный на функции стоимости, на 15 % и алгоритм планирования пути Rmap примерно на 49 %. В небольшой циклической среде предлагаемый алгоритм демонстрирует улучшение расстояния пути на 31% по сравнению с граничным алгоритмом, основанным на функции стоимости, и улучшение на 66% по сравнению с алгоритмом Rmap. В небольшой нециклической среде наш алгоритм работает на 22% и 69% лучше, чем алгоритмы Frontier, основанные на функции стоимости, и Rmap соответственно.

Кроме того, новый алгоритм сводит к минимуму количество шагов исследования, включая целевые точки и точки поворота, что приводит к сокращению временных затрат, особенно по сравнению с предыдущим алгоритмом Rmap. В условиях малой цикличности новый алгоритм сокращает затраты времени на 32–71 % по

сравнению с методами Frontier, основанными на функции стоимости, и методами Rmap. В широком контексте предлагаемый алгоритм превосходит предыдущие алгоритмы исследования на 12–57%.

Хотя алгоритм Rmap обеспечивает максимальную зону покрытия, предлагаемый алгоритм обеспечивает зону покрытия, сравнимую с сравниваемыми алгоритмами. Ключевые особенности нового алгоритма включают выбор оптимальных границ на основе внутренних границ, полученных посредством итерационного расчета. Это помогает предотвратить выделение неинформативных областей. Кроме того, алгоритм сводит к минимуму точки поворота, тем самым сокращая время исследования и расстояние прохождения.

#### IV ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложен новый алгоритм планирование пути для исследование неизвестного среды на автономно-мобильном роботе. Алгоритм с помощью данные датчиков

LIDAR определяет границы, генерирует внутренние пары этих границ, формирует геометрические формы, выполняет вычисления и на основе сформированного геометрического форма принимает решение о пути. Предложенной алгоритм тестировано в различных внутренних среде и результаты показали значительное уменьшение затраты времени и дистанция маршрутов робота. В дальнейшем алгоритм планируется использовать в динамическом среде для мульти роботе.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Chunhui Z.; Green R.*; Vision-based autonomous navigation in indoor environments. 2010 25th International Conference of Image and Vision Computing New Zealand, 2010, pp. 1-7, doi: 10.1109/IVCNZ.2010.6148876.
- [2] *Sariff, N.; Buniyamin, N.*; An Overview of Autonomous Mobile Robot Path Planning Algorithms. 2006 4th Student Conference on Research and Development, 2006, pp. 183-188, doi: 10.1109/SCORED.2006.4339335.
- [3] *Sariff, N.; Buniyamin, N.* Ant colony system for robot path planning in global static environment. In Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on System Science and Simulation in Engineering (ICOSSSE'10), Takizawa, Japan, 4-6 October 2010; pp. 192-197.
- [4] *Buriboev A.; Muminov A.; H.J. Oh, J.D. Lee, Y.A. Kwon, H.S. Jeon,* Internal and external frontier-based algorithm for autonomous mobile robot exploration in unknown environment. Electronics Letters. Wiley. 23 September 2021 <https://doi.org/10.1049/ell2.12316>
- [5] *Stout, M.S.; Brisson, G. F.; Di Bernardo, E.; Pirjanian, P.; Goel, D.; Case, J.P.; Dooley, M.* Methods and Systems for Complete Coverage of a Surface by an Autonomous Robot. U.S. Patent No. 9,026,302, 5 May 2015.
- [6] *Montiel, O.; Sepúlveda, R.; Orozco-Rosas, U.* Optimal path planning generation for mobile robots using parallel evolutionary artificial potential field. J. Intell. Robot. Syst. 2015, 79, 237-257.
- [7] *Šeda, M.* Roadmap methods vs. cell decomposition in robot motion planning. In Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation, Corfu Island, Greece, 16-19 February 2017; World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS): Stevens Point, WI, USA, 2017; pp. 127-132.
- [8] *Luo, C.; Gao, J.; Li, X.; Mo, H.; Jiang, Q.* Sensor-based autonomous robot navigation under unknown environments with grid map representation. In Proceedings of the 2014 IEEE Symposium on Swarm Intelligence (SIS), Orlando, FL, USA, 9-12 December 2014; pp. 1-7.
- [9] *Boucher, S.* Obstacle Detection and Avoidance Using Turtlebot Platform and Xbox Kinect; Department of Computer Science, Rochester Institute of Technology: Rochester, NY, USA, 2012; p. 56.
- [10] *Mac, T.T.; Copot, C.; Tran, D.T.; De Keyser, R.* Heuristic approaches in robot path planning: A survey. Robot. Auton. Syst. 2016, 86, 13-28.
- [11] *Bruce, J.; Veloso, M.M.* Real-time randomized path planning for robot navigation. In Proceedings of the RoboCup 2002, Fukuoka, Japan, 19-25 June 2002; Springer: Berlin / Heidelberg, Germany.
- [12] *Jadidi, M.G.; Miro, J.V.; Dissanayake, G.* Gaussian processes autonomous mapping and exploration for range-sensing mobile robots. Autonom. Robot. 2018, 42, 273-290
- [13] *Liu S, Li S, Pang L, Hu J, Chen H, Zhang X.* Autonomous Exploration and Map Construction of a Mobile Robot Based on the TGHM Algorithm. Sensors (Basel). 2020 Jan 15; 20 (2): 490. doi: 10.3390 / s20020490. PMID: 31952240; PMCID: PMC7013441.
- [14] *Zhang, J.; Wang, W.; Qi, X.; Liao, Z.* Social and Robust Navigation for Indoor Robots Based on Object Semantic Grid and Topological Map. Appl. Sci. 2020, 10, 8991. <https://doi.org/10.3390/app10248991>
- [15] *Tunggal, Tatiya Padang, et al.* Pursuit algorithm for robot trash can based on fuzzy-cell decomposition. Int J Electr Comput Eng, 6 (6) (2016), pp. 2863-2869, 10.11591/ijece.v6i6.10766
- [16] *C. Wang, W. Chi, Y. Sun, and M. Q. - Meng,* "Autonomous Robotic Exploration by Incremental Road Map Construction," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 16, no. 4, pp. 1720-1731, Oct. 2019, doi: 10.1109/TASE.2019.2894748.
- [17] *H. Cheng, H. Chen, and Y. Liu,* "Topological Indoor Localization and Navigation for Autonomous Mobile Robot," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 12, no. 2, pp. 729-738, April 2015, doi: 10.1109/TASE.2014.2351814.
- [18] *P.G.C.N. Senarathne, Danwei Wang,* Incremental algorithms for Safe and Reachable Frontier Detection for robot exploration, Robotics and Autonomous Systems, Volume 72,

- 2015, Pages 189-206, ISSN 0921-8890, <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.05.009>.
- [19] *Batsaikhan Dugarjav, Soon-Geul Lee, Donghan Kim, Jong Hyeong Kim, Nak Young Chong*, Scan matching online cell decomposition for coverage path planning in an unknown environment. *Int J Precis Eng Manuf*, 14 (9) (2013), pp. 1551-1558
- [20] *Lu, L.; Redondo, C.; Campoy, P.* Optimal Frontier-Based Autonomous Exploration in Unconstructed Environment Using RGB-D Sensor. *Sensors* 2020, 20, 6507. <https://doi.org/10.3390/s20226507>
- [21] *Jiang, L.; Zhao, P.; Dong, W.; Li, J.; Ai, M.; Wu, X.; Hu, Q.* An Eight-Direction Scanning Detection Algorithm for the Mapping Robot Pathfinding in Unknown Indoor Environment. *Sensors* 2018, 18, 4254. <https://doi.org/10.3390/s18124254>
- [22] *Lee, C. W.; Lee, J. D.; Ahn, J.; Oh, H.J.; Park, J.K.; Jeon, H.S.* A Low Overhead Mapping Scheme for Exploration and Representation in the Unknown Area. *Appl. Sci.* 2019, 9, 3089. <https://doi.org/10.3390/app9153089>
- [23] *Gomez, C.; Hernandez, A.C.; Barber, R.* Topological Frontier-Based Exploration and Map-Building Using Semantic Information. *Sensors* 2019, 19, 4595. <https://doi.org/10.3390/s19204595>

Поступила в редакцию 06.06.2024

**Цитирование:** Бурибаев А.Ш., Султанов Дж.Б., Жониев А.Ш. (2024). Алгоритм планирования пути на основе параметров трапеции для исследования мобильных роботов. *Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий*, 7(3), –С. 84-91. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i3.200>

## A TRAPEZOID-BASED PATH PLANNING ALGORITHM FOR MOBILE ROBOT RESEARCH

\**Buriboev A.Sh.<sup>1</sup>, Sultanov Dj.B.<sup>1</sup>, Joniev A.Sh.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Tashkent university of information technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup> Zarmed university, Samarkand, Uzbekistan

\*[wolfsonabror@gmail.com](mailto:wolfsonabror@gmail.com)

**Abstract.** *Exploration of an unknown environment by a mobile robot during SLAM processes is a fundamental challenge. In this study, an extended iteration of the Rmap algorithm is presented by modifying its Exploration submodule. Although the previous Rmap algorithm effectively reduces the grid map overhead, its Exploration module is expensive due to the rectangle following algorithm. To overcome this limitation, a new algorithm for autonomous path planning of mobile robots in unknown environments is introduced. The new algorithm uses the concept of paired boundaries to facilitate efficient navigation and expand the exploration area of the robot. In each exploration round, the mobile robot uses the range of its sensors to detect boundaries. By periodically adjusting the sensor range, the algorithm generates pairs of interior boundaries. The length of each boundary and the corresponding pair is calculated, which allows the new algorithm to select the target point for robot navigation. The experimental results demonstrate the effectiveness and applicability of the new algorithm in terms of exploration time and distance. Compared with the previous algorithms, the new algorithm provides significant improvements. The path distance required to complete the entire exploration is reduced by 15% to 69%, and the time cost is reduced by 12% to 86%. These results highlight the effectiveness of the proposed algorithm in optimizing the exploration process of mobile robots in unknown environments.*

**Keywords:** *algorithm, path planning, mobile robots, Rmap algorithm.*