

Разработка методов программной симуляции работы LIDAR

Development of software simulation methods LIDAR operation

Елизавета Викулова¹, Антон Толстихин¹

¹ Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134

Abstract

В рамках данной работы рассматривается задача разработки методов программной симуляции работы LIDAR для применения в робототехническом комплексе TEMAR. В данном комплексе установка реальных LIDAR-датчиков невозможна по экономическим и конструктивным причинам. Для решения задачи предлагаются два подхода: итеративный и аналитический. В результате проведенной серии экспериментов был выявлен наиболее успешный по точности и скорости работы подход.

Keywords

LIDAR, компьютерное зрение, моделирование, препятствие

1. Введение

Современные технологии автоматизации требуют эффективных систем восприятия окружающей среды, среди которых LIDAR [1, 2] является ключевым инструментом для точного измерения расстояний и создания трехмерных моделей. В условиях высокой стоимости и сложности интеграции реальных датчиков в робототехнические системы разрабатываются методы программной симуляции LIDAR, позволяющие моделировать его работу на основе данных с камер и алгоритмов компьютерного зрения. В данной работе предлагаются итеративный и аналитический подходы к симуляции LIDAR, что позволяет повысить точность и эффективность систем восприятия в условиях невозможности использования реальных датчиков.

2. Исследуемые подходы и условия проведения экспериментов

Данная работа заключается в разработке методов программной симуляции работы LIDAR для дальнейшего их применения в рамках комплекса TEMAR [3]. В данном случае установка реальных датчиков на мобильных роботов комплекса невозможна по конструктивным и экономическим соображениям. Однако, присутствует система камер и программное обеспечение с использованием алгоритмов компьютерного зрения, способные распознавать препятствия на стенде. Таким образом, задачей модуля симуляции LIDAR является отбор данных, доступных роботу, а также их преобразование в соответствующий формат.

Итеративный подход [4, 5], основанный на последовательном построении лучей с фиксированным шагом, является базовым методом, который позволяет достаточно точно воспроизвести работу реального LIDAR. Этот метод прост в реализации, но из-за фиксированного шага может обеспечивать недостаточно высокую точность и требует значительных вычислительных ресурсов, особенно при обработке сложных сцен с большим

7th International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2025), July 7–11, 2025, Irkutsk, Russia

EMAIL: vikulizavet85@gmail.com (A. 1); madstayler93@gmail.com (A. 2)



©2025 Copyright for this paper by its authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ICCS-DE 2025 Workshop Proceedings

DOI: 10.47350/ICCS-DE.2025.24

количеством объектов. В данной работе он используется как эталон для сравнения с другими двумя методами.

Предложенный аналитический подход, в свою очередь, включает два метода: описание препятствий с использованием фазового пространства и аппроксимацию контуров препятствий. Метод с использованием фазового пространства, основанный на преобразовании Хафа [6, 7], позволяет эффективно находить прямые, описывающие границы объектов, за счет анализа пересечений синусоидальных кривых. Аппроксимация контуров с помощью алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера [8] позволяет сократить количество точек, описывающих препятствия, сохраняя их форму, что снижает вычислительную нагрузку. После определения границ препятствий предлагается метод поиска точек, который позволяет получить массив координат этих препятствий. Стоит отметить, что сложные вычисления проводятся единожды, в случае стационарных препятствий, что существенно снижает вычислительную нагрузку и повышает эффективность работы алгоритма. После чего требуется только анализировать пересечения прямых.

Для проверки качества работы предложенных подходов была проведена серия тестов на подготовленных изображениях в количестве 10 штук. Тесты проводились с различными сложностями сцен, а именно: одно или несколько препятствий выпуклой и невыпуклой формы. Формат изображений JPG, каждое из которых представляет собой стандартный кадр в цветовой модели RGB и представлено в трех разрешениях: 450x300, 800x500 и 1800x900 пикселей. Разработана программа в интегрированной среде разработки IntelliJ IDEA на языке программирования Java с применением алгоритмов компьютерного зрения, в частности, используется библиотека OpenCV [9]. Требований к операционной системе не выдвигалось.

Ключевым критерием для оценки эффективности применяемых методов является время обработки одного изображения, выраженное в миллисекундах. Для повышения объективности результатов рассчитывается среднее время на основе ста тестовых запусков для каждого изображения. Это позволяет снизить влияние случайных факторов и получить более точную оценку производительности.

3. Результаты

На рисунках 1-3 приведены примеры работы модуля, для каждого из исследуемых подходов. На них зеленая точка обозначает положение LIDAR, сиреневые круги представляют собой найденные точки границы препятствия, которые были выявлены с помощью соответствующего метода.

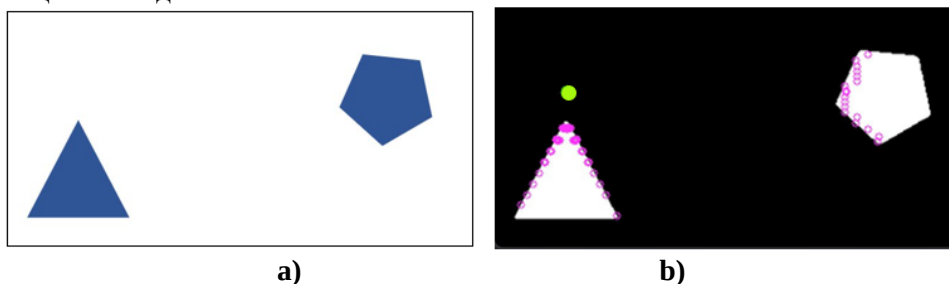


Рисунок 1: Пример входного изображения для двух выпуклых препятствий с различным количеством углов (a) и результат работы итеративного подхода (b)

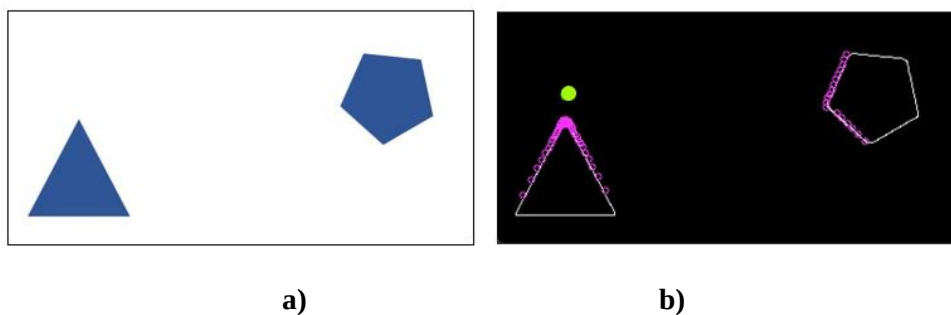


Рисунок 2: Пример входного изображения для двух выпуклых препятствий с различным количеством углов (a) и результат работы аналитического подхода с использованием фазового пространства (b)

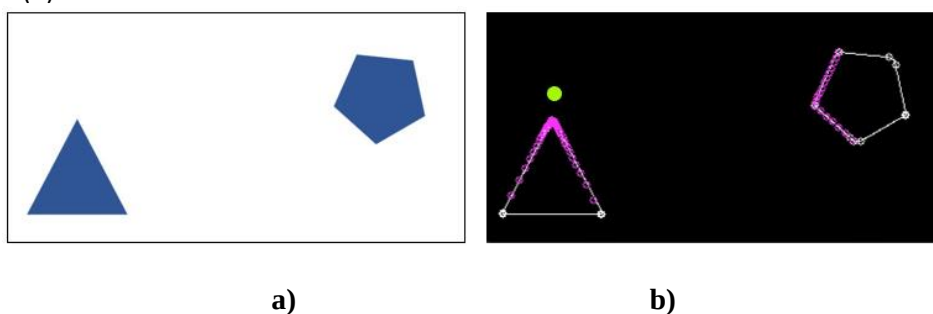


Рисунок 3: Пример входного изображения для двух выпуклых препятствий с различным количеством углов (a) и результат работы аналитического подхода с использованием аппроксимации (b)

На рисунке 4 представлены сравнительные результаты предложенных алгоритмов. В случае аналитических методов время обработки измерялось дважды: с нахождением границ препятствий и без него. Так как в комплексе TEMAR препятствия остаются статичны, сложные вычисления нужно проводить единожды. Поэтому справедливо оценивать время как с построением карты (поиском препятствий), так и без него.

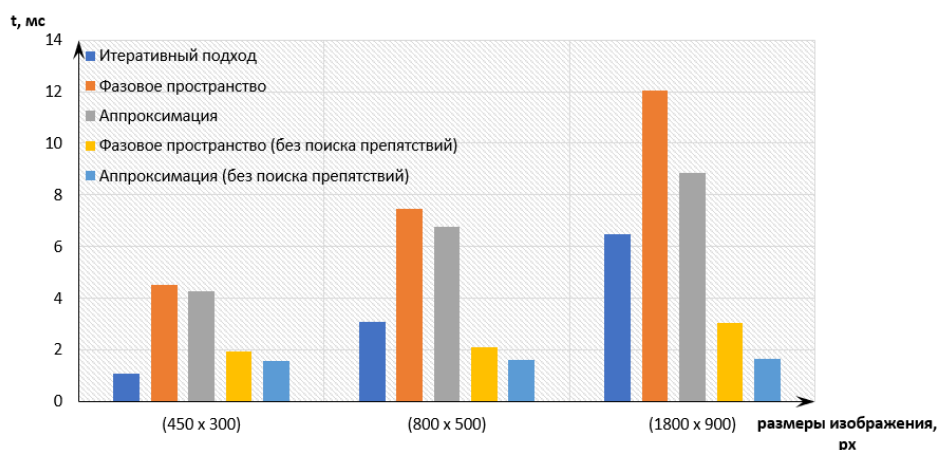


Рисунок 4: Результаты работы алгоритмов

На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что итеративный подход отличается линейным ростом сложности $O(n)$, зависящим от размера изображения. Данный метод требует значительных вычислительных ресурсов из-за необходимости проверки большого количества точек. Фиксированный шаг усложняет точное определение границы объекта. Уменьшение шага для повышения точности ведет к увеличению количества проверяемых точек и, как следствие, времени обработки. В результате, достижение четкой границы объекта становится практически невозможным из-за отсутствия компромисса между размером шага и вычислительными затратами. Однако, он будет более эффективен в случае

нестационарных препятствий, когда объекты изменяются или меняют свое положение во времени или пространстве.

Предложенные аналитические методы в случае, когда осуществляется поиск препятствий (построение карты) характеризуются линейной сложностью $O(n)$, которая также как и у итеративного метода зависит от размера входного изображения. Однако, при условии работы со стационарными препятствиями, вычислительная сложность значительно снижается, поскольку сложные вычислительные процедуры требуется проводить только один раз. В дальнейшем осуществляется только анализ пересечения прямых, что позволяет достичь практически константной сложности $O(1)$, не зависящей от размера изображения на входе. Такой подход обеспечивает более четкое определение границ объектов и является его явным преимуществом. Метод с использованием фазового пространства обладает более низкой скоростью работы за счет большего количества найденных границ препятствий. В целом, оба метода показывают хорошую стабильность и эффективность, что подтверждается результатами экспериментов на различных примерах.

Учитывая, что в рамках комплекса TEMAR препятствия являются статичными объектами, наиболее подходящим для выбора является аналитический подход с использованием метода аппроксимации множества точек контура. Который показал лучшее время обработки изображения среди всех рассмотренных подходов.

4. Источники

- [1] Современные методы геодезической измерительной техники [Электронный ресурс] // StudWork : [сайт]. – URL: <https://studwork.ru/spravochnik/geodeziya/sovremennye-metody-geodezicheskoy-izmeritelnoy-tehniki> (дата обращения: 02.05.2025).
- [2] Антонов А. Сканирующие лазерные дальномеры (LIDAR) [Электронный ресурс] / А. Антонов // Современная электроника : спец. проект. - Волгоград, [б.г.]. – URL: <https://www.cta.ru/articles/soel/2016/2016-1/4475/> (дата обращения: 01.05.2023).
- [3] Kostylev D. A. Development of the complex modelling system for intelligent control algorithms testing / D. A. Kostylev, A. A. Tolstikhin, S. A. Ul'yanov // 42nd International Convention MIPRO 2019 : proceedings. – Opatija, 2019. – Vol. 1. – No. 1. – P. 1091–1096.
- [4] Schmitt A. Ray Tracing Algorithms - Theory and Practice / A. Schmitt, H. Muller, W. Leister // Theoretical Foundations of Computer Graphics and CAD. – Berlin: Springer Verlag, 1988. – P. 997–1030.
- [5] OpenCV: Sobel Derivatives [Электронный ресурс] // OpenCV Documentation. – URL: https://docs.opencv.org/4.x/d2/d2c/tutorial_sobel_derivatives.html (дата обращения: 06.05.2025).
- [6] Дуда Р. О. Использование преобразования Хафа для обнаружения линий и кривых на изображениях / Р.О. Дуда, П.Э. Харт // Comm. ACM. – 1972. – Т. 15. – С. 11–15.
- [7] OpenCV: Hough Line Transform [Электронный ресурс] // OpenCV Documentation. – URL: https://docs.opencv.org/4.x/d6/d10/tutorial_py_houghlines.html (дата обращения: 14.05.2025).
- [8] Douglas D.H. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature / D.H. Douglas, T.K. Peucker // Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization. – 1973. – Vol. 10, № 2. – P. 112–122.
- [9] Прохоренок Н. А. OpenCV и Java. Обработка изображений и компьютерное зрение / Н. А. Прохоренок. СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 320 с.