

Научная статья  
УДК 623.746.-519:614.841  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.99.51.014

## Способ ориентации мобильного загрузочного устройства с использованием лазерного сканера

*Андрей Владимирович Калач*<sup>1</sup>  
*Сергей Викторович Аникин*<sup>2</sup>  
*Николай Викторович Мартинович*<sup>1</sup>  
*Татьяна Александровна Ломаева*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

<sup>2</sup>Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия

<sup>3</sup>Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

**Автор ответственный за переписку:** Калач Андрей Владимирович, a\_kalach@mail.ru

**Аннотация.** Сигналы, получаемые с круговых лазерных датчиков типа Lidar, обычно используются для определения наличия препятствия на пути следования робота. Предлагается использовать данные лазерного датчика в рабочей зоне для ориентации (совмещения) осей транспортного модуля и корпуса объекта загрузки. Основная цель – получение простого алгоритма ориентации с минимальными аппаратными и программными требованиями к системе управления.

**Ключевые слова:** способ ориентации; фильтры; датчики; роботы, анализ

**Для цитирования:** Калач А.В., Аникин С.В., Мартинович Н.В., Ломаева Т.А. Способ ориентации мобильного загрузочного устройства с использованием лазерного сканера // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2 (25). С. 124-130.

## METHOD FOR ORIENTING A MOBILE LOADING DEVICE USING A LASER SCANNER

*Andrey V. Kalach*<sup>1</sup>  
*Sergey V. Anikin*<sup>2</sup>  
*Nikolay V. Martinovich*<sup>1</sup>  
*Tatyana A. Lomaeva*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

<sup>2</sup> Military Research and Training Centre of the Air Force "Military Air Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin", Voronezh, Russia

<sup>3</sup> Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

**Corresponding author:** Kalach Andrey Vladimirovich, a\_kalach@mail.ru

**Abstract.** Signals from Lidar-type circular laser sensors are typically used to detect the presence of an obstacle in the path of the robot. It is proposed to use the laser sensor data in the working area to orient (align) the axes of the transport module and the body of the loading object. The main goal is to obtain a simple orientation algorithm with minimal hardware and software requirements to the control system.

**Keywords:** mode of orientation; filters; sensors; robots, analysis

**For citation:** Kalach A.V., Anikin S.V., Martinovich N.V., Lomaeva T.A. Method for orienting a mobile loading device using a laser scanner // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2022. № 2 (25). С. 124-130.

Одной из основных сфер государственного управления и регулирования является сфера обеспечения общественной безопасности граждан страны. Обеспечение пожарной безопасности, в свою очередь, является одной из главных составляющих общественной безопасности. В «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» одной из целей обеспечения государственной и общественной безопасности является комплексное развитие подразделений пожарной охраны, а также повышение эффективности мер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, обеспечивающие потребности личности, общества и государства и устойчивом развитии. [1]

В настоящий момент для выполнения задач, поставленных руководством, на государственном уровне в рамках повышения эффективности функционирования системы обеспечения пожарной безопасности страны в целом и, в частности, выполнения задач научно-техническое обеспечения пожарной безопасности необходимо учитывать объективные мировые тенденции развития цифровых технологий, перехода на новые технологии класса «Индустрия 4.0»,

Аварийно-спасательные работы характеризуются наличием факторов, угрожающих жизни и здоровью проводящих эти работы людей (спасателей, пожарных и др.) и требуют специальной подготовки, экипировки и оснащения. Свести к минимуму степень риска для спасателей позволяет использование так называемых «безлюдных технологий» – автоматизированных робототехнических средств.

При возникновении чрезвычайных ситуаций создаются временный штаб по ликвидации и предварительный план мероприятий. Последний включает в себя:

- а) предварительную разведку маршрутов движения формирований и участков предстоящих работ и уточнение ситуации в районе чрезвычайной ситуации;
- б) дальнейшую наземную разведку, прокладку колонных путей и устройство проездов (проходов) завалах и на зараженных участках, а также локализацию и тушение пожаров на путях движения формирований и участках работ;
- в) локализацию аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях;
- г) розыск пострадавших и извлечение их из-под завалов, поврежденных и горящих зданий, загазованных, задымленных и затопленных помещений, санитарная обработка людей, обеззараживание их одежды, территории, сооружений, техники, воды и продовольствия;
- д) оказание первой помощи пострадавшим и транспортировка их в лечебные учреждения.

Уменьшить степень участия человека при проведении работ в опасных условиях можно, используя дистанционно управляемое оборудование. В связи с этим весьма актуальным является создание робототехнических комплексов, предназначенных для проведения работ по предупреждению или ликвидации последствий нештатных ситуаций.

Одним из актуальных направлений развития мобильной робототехники является разработка устройств и алгоритмов управления устройств, обеспечивающих автоматическую загрузку (снаряжение) объектов, имеющих установленные модули для подвеса транспортируемого груза. В современных условиях, когда имеется достаточное количество промышленно выпускаемых модулей, обеспечивающих транспортировку грузов, нет необходимости выполнять полную разработку транспортно-загрузочного устройства. Достаточно выбрать подходящее транспортное устройство, и установив на него требуемый для выполнения операции подвеса механизм, разработать программные модули, обеспечивающие точный выход транспортного модуля на точку загрузки.

Предлагается разбить алгоритм выхода и ориентации мобильного загрузочного устройства в точку загрузки на три основные задачи, каждую из которых решает отдельный программно-аппаратный модуль:

1. Выдвижение загрузочного устройства с места погрузки в рабочую точку. Данный программный модуль относится к транспортным задачам и может быть решен встроенным программным обеспечением выбранной транспортной платформы. В качестве системы навигации могут использоваться лазерные маяки, GPS навигация и другие способы, выбор которых определяется возможностями выбранного транспортного модуля. В качестве примера можно рассмотреть транспортную платформу MiR1000 [2] который имеет на борту лазерные сканеры безопасности SICK S300; 3D-камеру Intel RealSense; ультразвуковые сканеры. Другим решением можно взять Ronavi H1500 - надежный логистический робот с продуманной конструкцией [3]. Устройство имеет грузоподъемность 1500 кг и оснащено навигационной системой по QR-кодам, Tof-сенсором и лидаром (LiDAR англ. Light Detection and Ranging «обнаружение и определение дальности с помощью света») для обеспечения безопасности перемещения, обладает способностью к перемещению в любом направлении без поворота корпуса и поворота вокруг своей центральной оси, что значительно упрощает алгоритм и структуру программного обеспечения управления движением;

2. Ориентация мобильной платформы вдоль оси объекта загрузки. Данный программный модуль предназначен для локального поворота устройства с целью предварительного совмещения оси транспортируемого груза с осью устройства подвеса. В качестве ориентирующего объекта предполагается использовать корпус снаряжаемого устройства. Большинство мобильных грузовых платформ оснащены лидарами, используемыми в качестве датчиков обнаружения препятствий на пути следования. Сканирующие лидары в системах машинного зрения формируют двумерную или трёхмерную картину окружающего пространства и позволяют определить возможные (свободные) коридоры для перемещения в заданную точку [4];

3. Совмещение точки подвеса транспортируемого объекта с базовой точкой направляющей системы. Это завершающий модуль взаимной ориентации транспортируемого объекта и системы подвеса. В его функции входит решение задачи подтверждения (или коррекции) совмещения осей ориентации транспортируемого груза и устройства подвеса, а также коррекция осевого смещения платформы относительно базовой точки подвеса. Для выполнения этой задачи рассмотрим возможность использования видеокамеры.

Первая цель транспортно-загрузочной операции, выдвижение в зону загрузки, можно выполнить используя встроенную программу работы транспортного модуля. При использовании устройства Ronavi H1500 это можно сделать с использованием установки меток (QR-кодов) или лазерного маяка. Непосредственное движение к объекту контролируется инерциальным измерительным блоком и лидаром с углом обзора 360°.

Цель данной работы – разработка способа ориентации мобильного устройства в рабочей зоне с использованием встроенного в транспортную систему навигационного оборудования.

Современные лазерные устройства типа ЛИДАР имеют два типа исполнения: плоскостные (2D-LiDAR) и устройства пространственного сканирования (3D-LiDAR). Первая группа используется, как правило, в системах технического зрения (мобильные роботы, беспилотные транспортные средства) для обнаружения препятствий по пути следования. Вторая группа устройств наиболее широко используется для географического и атмосферного картографирования [4]

Для обработки данных 3D-LiDAR требуется использование мощного программного обеспечения, такого как MeshLab (Open source, portable, and extensible system for the processing and editing of unstructured 3D triangular meshes), Cloud Compare (3D point cloud and mesh processing software Open Source Project) или PDAL (Point Data Abstraction Library) [5-7]. При этом большинство программ обработки лидарных данных устанавливаются на отдельных компьютерах, информация для обработки, на которые передается не полным облаком, а читается секторально из файлов данных которые обычно записывают в .laz и .las формате [8].

Наша задача – разработать способ ориентации, использующий установленный лидар и не требующий мощных вычислительных возможностей управляющей системы.

В чем основные особенности «плоского» скана:

на выходе устройства получаем последовательность значений, каждое из которых является значением расстояния от оптической системы датчика до препятствия;

пространство за препятствием для датчика невидимо.

Суть метода ориентации можно пояснить следующим образом: транспортный модуль состоит под углом к корпусу поверхность объекта загрузки (возможные оси 1, 2 и 3) (рис.1).

Рис. 1. Возможные оси при сканировании

Сектор сканирования датчика составляет  $360^0$  относительно центральной оси транспортного модуля (линия синего цвета). Оранжевая стрелка соответствует минимальному показанию скана лидара и определяет положение перпендикуляра к плоскости объекта загрузки. Расстояние от рабочей точки до объекта загрузки не превышает 3 метров. Предполагается, что зона обслуживания свободна от посторонних объектов, однако, за ее пределами могут находиться другие объекты, попадающие в зону сканирования, которая составляет порядка 10 метров. Про этом сам объект загрузки может находиться как слева, так и справа от транспортного модуля.

Таким образом, основная цель алгоритма обработки данных лидара - определить положение транспортного модуля относительно объекта загрузки и угол между осью мобильной платформы (центральная точка массива показаний датчика) и точкой минимального расстояния (перпендикуляра к плоскости объекта).

Направление поворота определяется по отношению осевой (центральной) точки массива и точки перпендикуляра:

если осевая точка левее перпендикуляра (имеет меньший индекс), то выполняем поворот вправо;

если осевая точка правее перпендикуляра (имеет больший индекс), то выполняем поворот влево.

При обработке данных сканирования необходимо учитывать, что полная таблица сканирования имеет результаты, выходящие за пределы плоскости объекта. Значение этих точек может значительно превышать расстояние до объекта. Таким образом, первым действием обработки результатов сканирования является фильтрация результатов для выделения точек, принадлежащих плоскости объекта.

Среди фильтров, традиционно используемых для исключения ненужных (случайных) результатов, часто встречаются фильтры Кальмана, метод скользящего среднего и другие, которые служат для того, чтобы исключить из результатов сканирования шумы, сгладить полученный ряд экспериментальных данных для прогнозирования и т.д. [8].

В нашем случае (задача предварительной ориентации) необходимо, прежде всего, избавиться от ненужных точек измерения. Для этого не требуется применение сложных статистических или фильтрационных алгоритмов. При установке на транспортном модуле промышленного датчика с углом обзора  $270^0$  и выше, нахождение перпендикуляра к плоскости объекта ориентации (минимального расстояния) гарантировано практически всегда. В зависимости от угла между осями платформы и объекта имеет место быть вариант, когда на объект может не попасть центральная точка скана.

С использованием имеющейся учебной мобильной платформы МРП 1.04 фирмы ZARNITZA [9] было проведено несколько экспериментов и расчетов, которые показали, что разность между соседними показаниями лидара при углах расположения платформы и объекта от  $5^0$  до  $60^0$  и расстоянии точки подвеса до корпуса объекта от 500 до 2000 мм составляет от 8 до 35 мм, а разница между минимальным и максимальным расстоянием до объекта не превышает 115 мм.

Попробуем применить для массива данных простейший динамический фильтр (реакция на изменение показаний). Алгоритм фильтра достаточно простой (рис. 2).

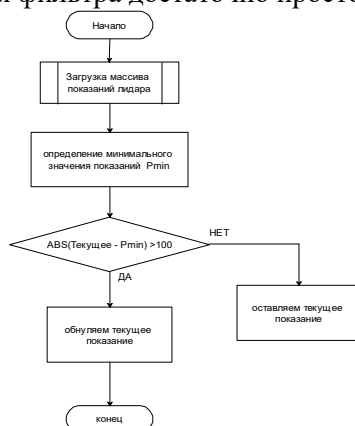


Рис. 2. Алгоритм фильтра

Результат работы фильтра показан в таблице.

Таблица. Результат работы фильтра

| точка    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Исходное | 1472 | 1513 | 1560 | 1627 | 2022 | 2016 | 2219 | 2216 | 1063 | 1045 | 1033 | 1020 | 1011 | 1008 | 1005 |
| фильтр   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1163 | 1045 | 1033 | 1020 | 1011 | 1008 | 1005 |
| точка    | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| Исходное | 1002 | 998  | 996  | 993  | 990  | 987  | 984  | 981  | 978  | 975  | 970  | 966  | 963  | 960  | 957  |
| фильтр   | 1002 | 998  | 996  | 993  | 990  | 987  | 984  | 981  | 978  | 975  | 970  | 966  | 963  | 960  | 957  |
| точка    | 31   | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40   | 41   | 42   | 43   | 44   | 45   |
| Исходное | 955  | 955  | 956  | 958  | 963  | 968  | 976  | 984  | 1814 | 1751 | 1767 | 2214 | 2187 | 2203 | 1844 |
| фильтр   | 955  | 955  | 956  | 958  | 963  | 968  | 976  | 984  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |

Как видим, все точки плоскости объекта попали в результирующую таблицу, что и требовалось для дальнейшей обработки результатов.

Определение положения мобильного загрузчика относительно объекта загрузки определяем по индексам точек плоскости объекта загрузки:

- если точки находятся в первом секторе скана ( $1 \div 180$  точки) – объект находится слева, если во втором ( $181 \div 360$  точки), то справа;
- если объект находится слева, а индекс средней точки скана меньше индекса минимального значения, то выполняется поворот влево;
- если объект находится слева, а индекс средней точки скана больше индекса минимального значения, то выполняется поворот вправо;
- если объект находится справа, а индекс средней точки скана меньше индекса минимального значения, то выполняется поворот вправо;
- если объект находится справа, а индекс средней точки скана больше индекса минимального значения, то выполняется поворот влево.

Величина угла поворота определяется разностью между индексами средней и минимальной точками скана умноженной на угловое разрешение, которое для промышленных лидаров составляет величину от  $0,18^\circ$  до  $1^\circ$  [10].

Использование такого алгоритма обработки данных позволяет осуществить предварительную ориентацию осей груза и установочного механизма на объекте загрузки с точностью, определяемой угловым разрешением установленного на транспортном модуле датчика и не требует значительных аппаратных и вычислительных ресурсов от системы управления.

## Список источников

1. Развитие инновационной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности на современном этапе / М. В. Петухова, Н. В. Мартинович, Е. И. Власенко [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2021. – № 4(23). – С. 142-151. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.28.83.017. – EDN DLBHAA.
2. Робот MiR100 [Электронный ресурс] // TEHNORED - ведущий разработчик робототехнических решений: [сайт]. URL: [https://technored.ru/catalog/roboty/avtomaticheskie\\_mobilnye/mir1000.html](https://technored.ru/catalog/roboty/avtomaticheskie_mobilnye/mir1000.html) (дата обращения: 4.апреля.2022).
3. Логистические роботы RONAVI [Электронный ресурс] // Ronavi robotics: [сайт]. URL: <https://ronavi-robotics.ru/> (дата обращения: 8.апрель.2022). ЛИДАР. Все что нужно знать [Электронный ресурс] // GISTROY - портативное оборудование: [сайт]. URL: <https://gistroy.ru/article/lidar/> (дата обращения: 8.апреля.2022).
4. Open source system for processing and editing 3D triangular meshes [Электронный ресурс] // MeshLab: [сайт]. URL: <https://www.meshlab.net> (дата обращения: 28.апреля.2022).
5. 3D point cloud and mesh processing software [Электронный ресурс] // CloudCompare: [сайт]. URL: <http://www.danielgm.net/cc/> (дата обращения: 26.апреля.2022).
6. PDAL - Point Data Abstraction Library [Электронный ресурс] // PDAL: [сайт]. URL: <https://pdal.io> (дата обращения: 28.апреля.2022).
7. What is a LAS file ? [Электронный ресурс] // pylas: [сайт]. URL: <https://pylas.readthedocs.io/en/latest/intro.html> (дата обращения: 28.апреля.2022).
8. Чирков Д.Г. С.А.Д. Международная конференция по мягким вычислениям // Методы программной фильтрации данных для работы с ультразвуковыми датчиками в области робототехники. СПб. 2000. Т. 1. с. 155-158.
9. Установка по изучению мобильных платформ для роботизированных систем МРП-1.04 [Электронный ресурс] // Zaritza Robotics: [сайт]. URL: <https://zarnitza.ru/catalog/mekhatronika-i-robototekhnika/robototekhnika/vysshie-uchebnye-zavedeniya/ustanovka-po-izucheniyu-mobilnyh-platform-dlya-robotizirovannyh-sistem-mpr-104/> (дата обращения: 8.апреля 2022).
10. Датчики 2D-LiDAR LMS1000 / Outdoor [Электронный ресурс] // SICK Sensor Intelligens: [сайт]. URL: <https://www.sick.com/ru/ru/detection-and-ranging-solutions/-2d-lidar/lms1000/lms1104c-111031s01/p/p578944> (дата обращения: 25.апреля.2022).

## List of sources

1. Development of innovative activities in the field of fire safety at the present stage / M.V. Petukhova, N.V. Martinovich, E.I. Vlasenko [et al] // Siberian Fire and Rescue Bulletin. - 2021. - № 4(23). - С. 142-151. - DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.28.83.017. - EDN DLBHAA.
2. Robot MiR100 [Electronic resource] // TEHNORED - the leading developer of robotic solutions: [website]. URL: [https://technored.ru/catalog/roboty/avtomaticheskie\\_mobilnye/mir1000.html](https://technored.ru/catalog/roboty/avtomaticheskie_mobilnye/mir1000.html) (accessed 4.April.2022).
3. logistics robots RONAVI [Electronic resource] // Ronavi robotics: [website]. URL: <https://ronavi-robotics.ru/> (access date: 8.April.2022). LEADAR. All you need to know [Electronic resource] // GISTROY - portable equipment: [site]. URL: <https://gistroy.ru/article/lidar/> (access date: 8.April.2022).
4. open source system for processing and editing 3D triangular meshes [Electronic resource] // MeshLab: [website]. URL: <https://www.meshlab.net> (accessed 28.April.2022).
5. 3D point cloud and mesh processing software [Electronic resource] // CloudCompare: [website]. URL: <http://www.danielgm.net/cc/> (accessed 26.April.2022).
6. PDAL - Point Data Abstraction Library [Electronic resource] // PDAL: [website]. URL: <https://pdal.io> (accessed 28.April.2022).

- 
7. What is a LAS file ? [Electronic resource] // pylas: [website]. URL: <https://pylas.readthedocs.io/en/latest/intro.html> (accessed 28.April.2022).
  8. Chirkov D.G. S.A.D. International Conference on Soft Computing // Software Data Filtering Methods for Ultrasound Sensors in Robotics. SPb. 2000. T. 1. c. 155-158.
  9. Mobile Platform Research Unit for Robotic Systems MRP-1.04 [Electronic resource] // Zaritza Robotics: [website]. URL: <https://zarnitza.ru/catalog/mekhatronika-i-robototekhnika/robototekhnika/vysshie-uchebnye-zavedeniya/ustanovka-po-izucheniyu-mobilnykh-platform-dlya-robotizirovannykh-sistem-mpr-104/> (accessed 8.April 2022).
  10. 2D-LiDAR LMS1000 / Outdoor sensors [Electronic resource] // SICK Sensor Intelligens: [website]. URL: <https://www.sick.com/ru/ru/detection-and-ranging-solutions/-2d-lidar/lms1000/lms1104c-111031s01/p/p578944> (accessed 25.April.2022).

***Информация об авторах***

Калач А.В. – доктор химических наук, профессор  
Ломаева Т.А. - кандидат технических наук, доцент

***Information about the author***

Kalach A.V. – Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Chemical Sciences,  
Full Professor  
Lomaeva T.A. - Ph.D. of Engineering Sciences, Docent

***Вклад авторов:*** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

***Contribution of the authors:*** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 28.05.2022; одобрена после рецензирования 20.06.2022; принята к публикации 30.06.2022.

The article was submitted 28.05.2022, approved after reviewing 20.06.2022, accepted for publication 30.06.2022.