

- удаленный доступ;
- энергоэффективность и экономия;
- безопасность данных;
- дешевизна;
- доступность компонентов;
- быстрота сборки;
- практичность.

В работе выполнено описание структурной и электрической схемы устройства. Собрано само устройство, описаны его функции. Выполнено описание элементной базы устройства. Разработан веб-интерфейс устройства для управления удаленно.

#### Литература

1. Суковатый, А. С. Аппаратно-программное обеспечение учебного макета «умный дом» / А. С. Суковатый, П. А. Торговцов, И. В. Дорошенко // Молодые исследователи – регионам : материалы Междунар. науч. конф. (Вологда, 22 апр. 2025 г.) / Мин-во науки и высш. образования Рос. Федерации ; Правительство Волог. обл., Волог. гос. ун-т. – Вологда : Волог. гос. ун-т, 2025. – С. 414–415.
2. Цифровые интегральные микросхемы / М. И. Богданович, И. Н. Грель, В. А. Прохоренко, В. В. Шалино. – Минск : Беларусь, 1991. – 493 с.
3. Усатенко, С. Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД : справочник / С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. – М. : Изд-во стандартов, 1989.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА**

**А. А. Радкевич, С. А. Павлюковец**

*Объединенный институт проблем информатики  
Национальной академии наук Беларуси, г. Минск*

*Рассмотрены вопросы автономной навигации мобильного робота при реализации алгоритма одновременного позиционирования и картирования. Произведены анализ и верификация характеристик лазерного дальномера определенной модели и его влияние на точность построения карты местности, которые позволяют учитывать их при локализации мобильного робота в процессе навигации.*

**Ключевые слова:** лазерный дальномер, автономная навигация, мобильный робот, SLAM.

### **DETERMINING THE POSITIONING PARAMETERS OF AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT BASED ON THE INFORMATION ANALYSIS AND PROCESSING OF A LIDAR**

**A. A. Radkevich, S. A. Pavlyukovets**

*The United Institute of Informatics Problems of the National Academy  
of sciences of Belarus, Minsk*

*This paper deals with the autonomous navigation of mobile robots using a simultaneous positioning and mapping algorithm. The characteristics of a specific laser rangefinder and its impact on terrain mapping accuracy are analyzed and verified, allowing these characteristics to be taken into account when localizing the mobile robot during navigation.*

**Keywords:** laser rangefinder (LiDAR), autonomous navigation, mobile robot, SLAM.

В процессе автономной навигации мобильный робот должен получать информацию о расстоянии до объектов через сенсорный модуль, чтобы анализировать внешние данные для реализации SLAM (синхронного позиционирования и картирования) и планирования пути. В качестве сенсоров выступают микроэлектронные устройства: ультразвуковые, лазерные и инфракрасные дальномеры, видеокамеры и прочие. Ведущие позиции для целей навигации занимают лазерные дальномеры – лидары (LiDAR), которые применяются для построения 3D карт местности, обнаружения препятствий и являются основой для алгоритмов SLAM. Современные модели лидаров – компактные, с высоким разрешением, обладают высокой точностью по сравнению с иными сенсорными модулями.

Целью данной работы является исследование характеристик и тестирование лазерного дальномера с интеграцией SLAM и определение их влияния на построение карт местности в операционной системе Robot Operating System (ROS). В качестве датчика LiDAR для целей данного исследования был выбран и протестирован двумерный LiDAR марки RplidarA2, обладающий частотой сканирования 10 Гц и частотой дискретизации 16 кГц.

Процесс позиционирования робота в ROS осуществляется при помощи визуализации карты местности через инструмент rviz. На рис. 1 показана карта позиционирования робота в ROS, на которой положение робота на основании информации от LiDAR отображено роем красных частиц (координат), которые перемещаются вместе с моделью робота при его движении. При сканировании местности LiDAR все частицы сопоставляются с картой и обновляются итеративно. Эти данные локализуются вокруг модели робота и таким образом предоставляют текущую информацию о его положении на карте.

Для тестирования LiDAR RplidarA2 проведено несколько измерений одного и того же угла небольшой площади. Было просканировано линейное препятствие длиной  $AB$  в точке  $O$  и получен перпендикуляр  $OA \perp AB$ . Далее получены измеренные значения в диапазоне угла  $\angle AOB$  в качестве набора статистических данных выборки, разделены на несколько подинтервалов, подсчитано количество точек данных, попадающих в каждый подинтервал, и результаты отображены в виде гистограммы. В соответствии с функцией распределения вероятностей гауссовского распределения проведена регрессия  $\alpha$ - $\beta$ .

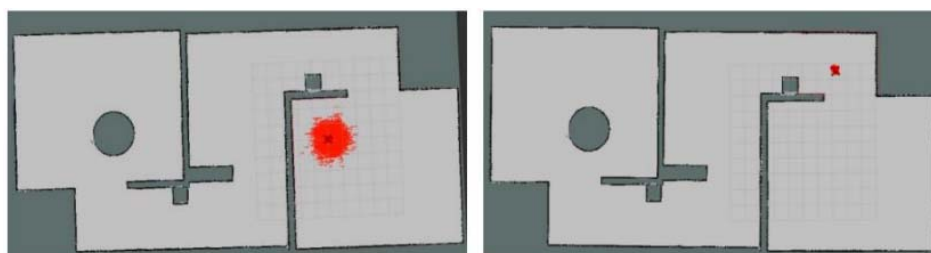


Рис. 1. Позиционирование робота на построенной карте местности в ROS с информацией о его текущем положении от LiDAR

Результат проведенного измерения и полученная гистограмма зависимости угла измерения  $\varphi$  от дальности измерения  $r$  показаны на рис. 2. На рис. 2, а представлены результаты одного полного сканирования коридора, где красные точки – искусственно размещенные горизонтальные препятствия. Из рис. 2, б следует, что дальность измерения RplidarA2 в функции угла измерения подчиняется гауссовскому

распределению [1], что доказывает правильность использования гауссова распределения для аппроксимации данных.

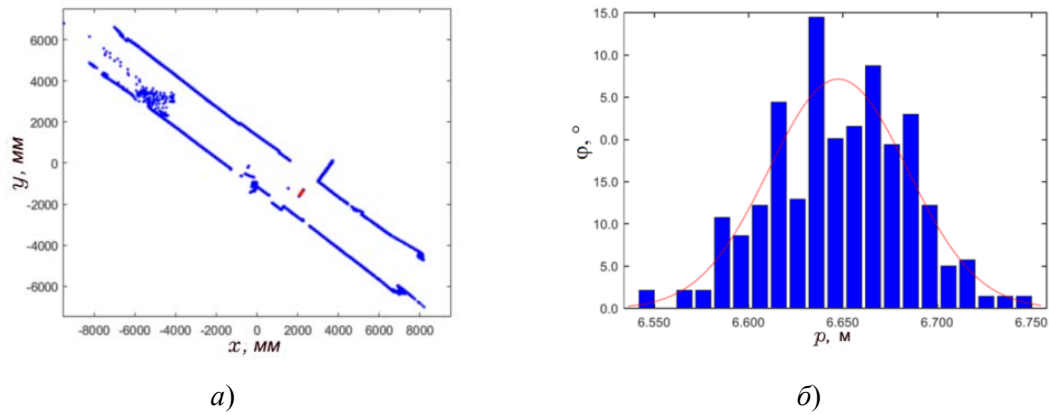


Рис. 2. Результаты тестирования RplidarA2:  
 а – карта локализации измерений лидаром  $y = f(x)$ ;  
 б – гистограмма распределения угла измерения от дальности  $\phi = f(p)$

В соответствии с полученными данными построен график зависимости относительного угла обзора  $\sigma = \beta/\alpha$  в функции дальности обзора  $p$  методом сплайновой аппроксимации данных, представленный на рис. 3.

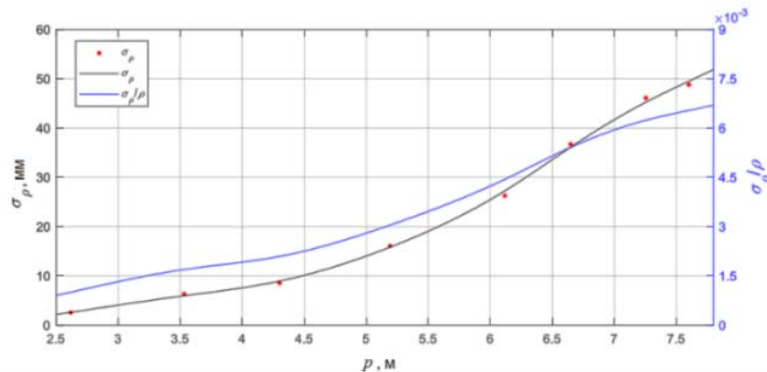


Рис. 3. График зависимости относительного угла обзора RplidarA2 от дальности обзора  $\sigma = f(p)$

Из рис. 3 следует, что с увеличением дальности обзора  $p$  отношение углов обзора  $\sigma$  значительно увеличивается, что соответствует характеристикам LiDAR. Исходя из гауссовой функции распределения со статистическими значениями гистограммы на рис. 2, б, получим величину стандартного отклонения угла  $\sigma = 0,0034$  рад.

Таким образом, на основе анализа основных принципов навигации робота определены принципы и алгоритмы построения карт местности в SLAM, а также экспериментально измерены внутренние параметры LiDAR RplidarA2, которые обеспечивают точную локализацию и позиционирование робота в неопределенной среде.

#### Литература

1. Real-time navigation of mecanum wheel-based mobile robot in a dynamic environment / A. Imran, S. Maznoor, A. H. Majeed [et al.] // Heliyon. – 2024. – N 10 (5).