

В. И. Барсов, А. В. Плахотный

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА И ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ НАВИГАЦИИ РОБОТА

Предметом исследования в данной статье является процесс определения расстояния до препятствия и его геометрических размеров, необходимых для выбора оптимального маршрута мобильного робота, позволяющего обходить препятствие в автоматическом режиме. **Цель** – разработать процедуру и реализующий ее алгоритм определения расстояния до препятствия и его геометрических размеров на основе использования одного источника лазерного излучения. **Задача:** на основе анализа известных подходов к определению расстояния до препятствия и определению его геометрических размеров разработать процедуру и реализующий ее алгоритм, позволяющий определять расстояние до препятствия и его геометрические размеры, с использованием одного источника лазерного излучения. Используемыми **подходами** являются: определение расстояния до препятствия при помощи лазерных дальномеров; определение геометрических размеров и форм препятствий на основе использования систем технического зрения; определение расстояния до препятствия на основе применения метода триангуляции. Получены следующие **результаты:** предложен подход, позволяющий с использованием только одного источника лазерного излучения и веб-камеры определять не только расстояние до препятствия, но и его геометрические размеры, который в отличие от известных, методов основанных на применении систем технического зрения не использует «маяк» (объект с заведомо известными размерами) и системы стереозрения. **Выводы.** Предложенный в работе подход позволяет определить расстояние до препятствия с точностью в 97,4%, геометрические размеры с точностью 91%. Рассмотренная процедура и реализующий ее алгоритм в дальнейшем могут быть использованы в системах навигации мобильных роботов.

Ключевые слова: система технического зрения, мобильный робот, лазерный дальномер, препятствие, навигация.

Введение

Одной из не полностью решенных задач робототехники остается задача навигации мобильного робота в пространстве, т.е. анализ ситуации и выбор оптимального маршрута в обход препятствий в автоматическом режиме. Если возникает необходимость навигации мобильного робота внутри помещений произвольной конфигурации, в которых могут находиться объекты с неизвестными габаритами и формами, появляются задачи [1-4]: определения расстояния до объекта, определение линейных размеров объекта, определение углового положения мобильного робота и т.д. Данные задачи можно решить при помощи систем технического зрения. Однако такой подход не всегда является оптимальным и не всегда позволяет получить всеобъемлющие решения данных задач.

Для построения оптимального маршрута движения мобильного робота в помещении необходимо знать расстояния до препятствий, а также их геометрические размеры, что и является **целью статьи**.

Определение расстояний до препятствий

Рассмотрим один из способов определения расстояния до объекта (препятствия) описанный в [1]. Подход основан на системе технического зрения, работающей по образу лазерного дальномера. В состав данной системы входит непосредственно источник лазерного излучения и камера, которая фиксирует данную сцену. Полученные данные обрабатываются вычислителем.

Определение расстояния основывается на использовании лазерной триангуляции. В данном подходе лазерная точка является указателем на объект, до которого измеряется расстояние.

Отражение фиксируется веб-камерой, которая установлена на некотором расстоянии от лазера, тем самым образуя треугольник между объектом, камерой и лазером. Отражение лазерной точки, попадая в камеру, образует угол между направлением лазера и отражением точки на камеру, что и позволяет определить расстояние до объекта (рис. 1).

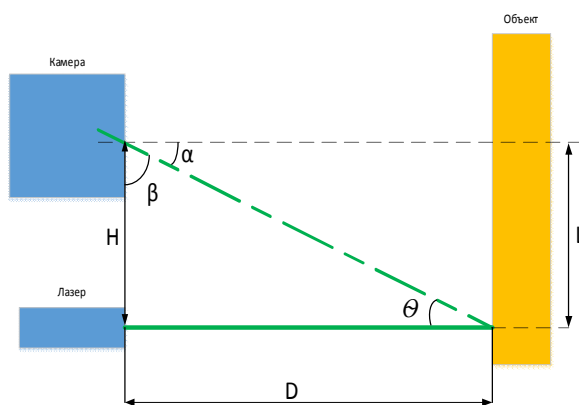


Рис. 1. Лазерная триангуляция

Расстояние до объекта определяется как

$$D = H / \operatorname{tg} \theta, \quad (1)$$

где D – расстояние до объекта, H – расстояние между веб-камерой и лазером, θ – угол между лучом

лазера и лазерной точкой. Угол между лазерным лучом и возвращаемой лазерной точкой можно найти таким образом:

$$\theta = P \cdot R + R_0, \quad (2)$$

где P – число пикселей от центра фокальной плоскости; R – число радиан на шаг пикселя; R_0 – смещение по радиусу.

Данный метод позволяет производить измерения расстояния до подвижных объектов в реальном времени. На рис. 2 представлена схема установки, реализующей данный метод.

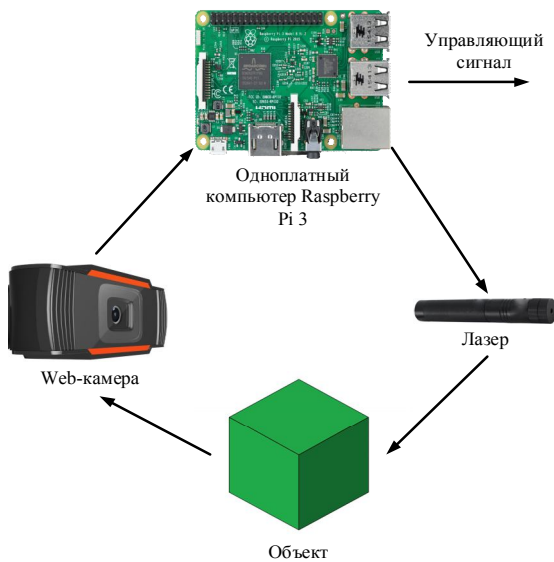


Рис. 2. Реализация метода лазерной триангуляции

Для калибровки установки, реализующей метод лазерной триангуляции, измеряются расстояния в пикселях от центра фокальной плоскости камеры до проецируемой точки. Затем рассчитываются углы θ для всех замеров, в данном случае это: 50 см, 1 м, 1.5 м, 2 м, 2.5 м, 3 м.

Полученные данные используются для построения графика зависимости угла θ от количества пикселей от центра фокальной плоскости P до метки и нахождения значений R и R_0 с помощью добавления к графику линии тренда и ее функции. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость расстояния от количества пикселей

Реальное расстояние, мм	Полученное расстояние, мм	Ошибка, %
500	490	2
1000	998	0,2
1500	1500	0
2000	1970	1,5
2500	2450	2
3000	2920	2,6

Используя выражение (1) вычисляется угол θ между проецируемым лучом и отраженным:

$$\text{tg } \theta = H/D, \quad (3)$$

т.е. $\theta = \text{arctg}(H/D), \quad (4)$

Расстояние между центром камеры до лазера, в данном случае составляло 10,4 см.

Далее рассчитывается угол θ для каждого расстояния D . После чего строятся соответствующие графические зависимости (рис. 3).

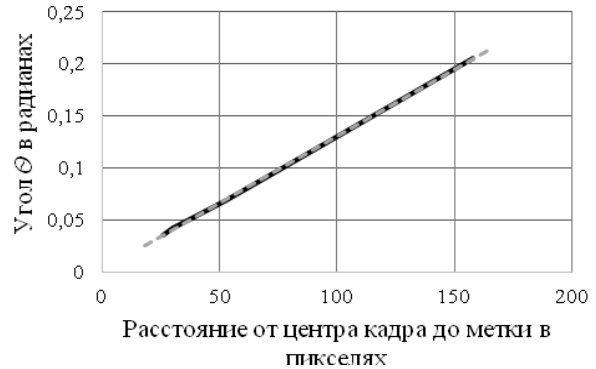


Рис. 3. График зависимости угла θ и количеством пикселей от центра фокальной плоскости

Для расчёта значений R и R_0 полученные данные аппроксимируются с применением инструмента Excel - линия тренда. Добавляя к полученным значениям линию тренда получим уравнение:

$$y = 0,0013x + 0,0017 \quad (5)$$

В уравнении (5) полученном с использованием выражения (2) для определения θ , $R=0,0013$ и $R_0=0,0017$, x – количества пикселей от центра фокальной плоскости P . Данное уравнение используется в расчетном алгоритме при проведении замеров.

Когда все величины получены, можно провести сравнение полученных значений с реальными. Результаты реализации представленные в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнение полученных результатов

Расстояние, м	P (количество пикселей)
0.5	158
1	80
1.5	53
2	39
2.5	30
3	26

Как видно из табл. 2, максимальная ошибка определения составляет 2,6 %, т.е. 8 см на расстоянии в 300 см.

Определение геометрических размеров

Существуют несколько подходов к решению задачи определения геометрических размеров объектов (высоту и ширину). Наиболее распространено использование «маяка» в кадре. Также широко используется подход, основанный на использовании стереозрения.

Рассмотрим предлагаемый подход, который в отличие от описанных выше позволяет определить геометрические размеры объекта без присутствия маяка в кадре и использования стереозрения.

Для определения расстояний до препятствий предлагаемый подход использует методику триангуляции описанную в [1].

Сложность реализации данного подхода заключается в выборе и определении геометрических размеров интересующего нас объекта среди множества объектов присутствующих в кадре. Для упрощения решения данной задачи было принято условие определять геометрические параметры только того объекта, на который попадает лазерная метка.

На рис. 4 представлена схема установки для определения размеров объекта (препятствия). Суть подхода заключается в рассмотрении прямоугольника, который образуется лучом лазера и линией фокальной плоскости (D – луч лазера, F – линия центра кадра).

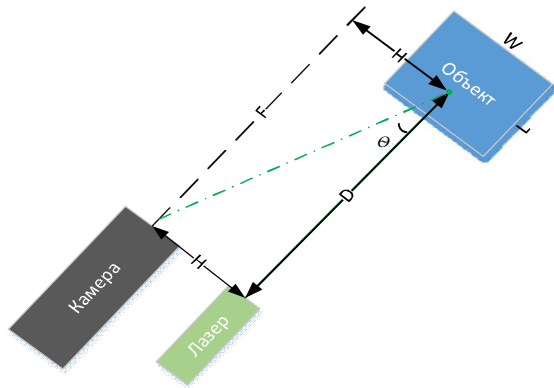


Рис. 4. Схема установки определения размеров объекта

Учитывая, что расстояние между камерой и лазером нам известно и составляет 10,4 см, то расстояние от центра кадра до метки лазера такое же, остается найти расстояние от центра кадра до метки в пикселях, и рассчитать размер пикселя в образованной плоскости:

$$K = 10,4 / D_{center} \quad (6)$$

где D_{center} – расстояние от центра кадра до метки в пикселях. Далее, с учетом результата уравнения (6) найдем ширину объекта.

$$W = K \cdot W_{px} \quad (7)$$

где W_{px} – ширина объекта в пикселях.

Высота объекта находится аналогично ширине.

$$L = K \cdot L_{px} \quad (8)$$

где L_{px} – высота объекта в пикселях

Общий алгоритм процедуры реализующей предлагаемый подход представлен на рис. 5. С его помощью геометрические размеры объекта определяются только в том случае, если на него указывает метка. В противном случае просто определяется расстояние, так как не всегда можно определить объект полностью, или он сливается с окружением.

Данный алгоритм был реализован на языке Python с использованием библиотеки OpenCV. Для более удобного отслеживания данных был разработан интерфейс главного окна программы, представленный на рис. 6, позволяющий проводить настройку параметров отслеживания лазерной метки и объекта.



Рис. 5. Общий алгоритм

Интерфейс разделен на две половины в правой части отображается видео поток текущей сцены с захватом объекта и метки лазера, а в левой находятся две кнопки. Первая открывает окно настройки фильтра метки лазера (рис. 7). Для захвата метки необходимо указать максимальный и минимальный порог цвета в формате HSV, за что и отвечают 6 ползунков, находящихся слева. Белая точка в правой части экранная и является лазерной меткой.



Рис. 6. Интерфейс главного окна программы

Вторая кнопка вызывает окно настройки фильтра объекта (рис. 8). Окно настройки фильтра объекта разделено на две части, в левой части ползунки настройки поиска границ объектов на изображении, в правой изображении полученных границ. Первые два ползунка отвечают за глубину изо-

браження, от массива оригинального изображения вычитается массив того же изображения только с применением размытия Гаусса, что позволяет усилить глубину контуров объектов. Следующие два ползунка отвечают за порог максимума и минимума функции Канны, для поиска границ, а последние – за закрытие полученных границ.

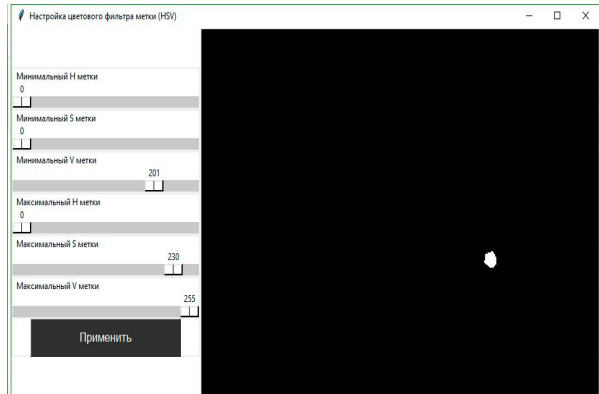


Рис. 7. Окно настройки фильтра метки

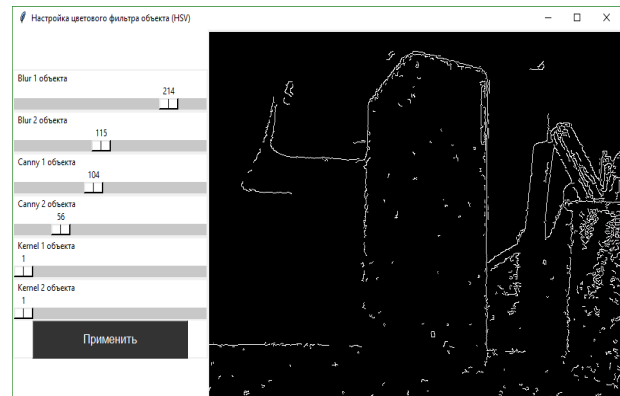


Рис. 8. Окно настройки фильтра объекта

В главном окне программы, представленном на рис. 6, в левой нижней части присутствует раздел, в котором отображается конечный результат, т.е. расстояние до объекта и его геометрические размеры.

Результаты экспериментальной проверки данного подхода при исследовании объектов различных размеров представлены на рис. 9,10.

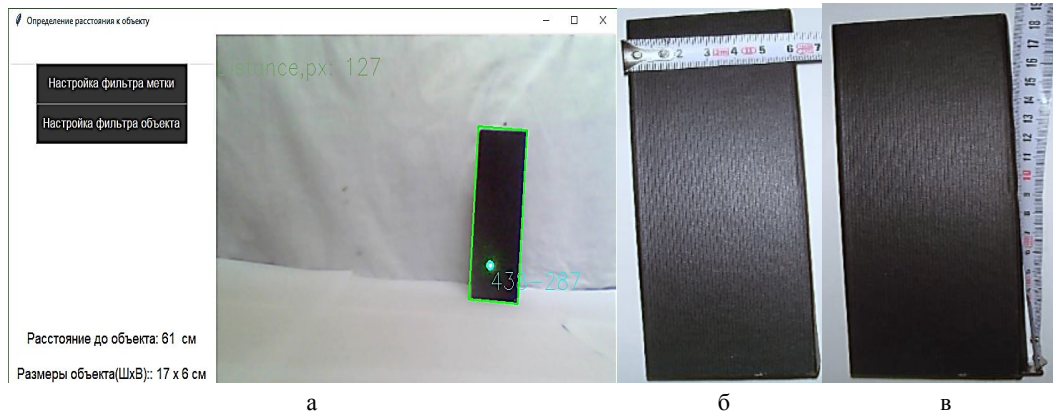


Рис. 9. Результаты экспериментальной проверки данного подхода при исследовании первого объекта (а – главное окно; б – ширина объекта; в – высота объекта)



Рис. 10. Результаты экспериментальной проверки данного подхода при исследовании второго объекта (а – главное окно; б – ширина объекта; в – высота объекта)

Выводы

Предложенный подход дает возможность определять расстояние до препятствия, а также его геометрические параметры на основе использования только одного источника лазерного излучения. Разработанный интерфейс реализующий алгоритм

предлагаемого подхода наглядно показывает результаты измерений.

Анализ полученных результатов определения расстояния показал, что максимальная ошибка составляет 2,6 % (табл. 2) т.е. результат является удовлетворительным. Результаты определения геометрических размеров объекта, представленные в

табл. 3, показують, що ошибка определения размеров объекта может составлять до 9,09%.

Таблица 3 – Результаты определения геометрических размеров

Реальные (выс./шир.), мм	Полученные (выс./шир.), мм	Ошибка, %
180/63	170/60	5,5
108/74	100/70	7,4
163/82	150/80	7,9
165/223	150/210	9,09

Однако, точность определение размеров зависит от многих факторов, таких как качество входного изображения, а также точности определения самого объекта на изображении.

Полученная ошибка относится не к производимому расчету размера объекта, а непосредственно определению объекта.

Предлагаемый подход в дальнейшем можно применять при создании систем навигации мобильных роботов, для поиска оптимального маршрута в неизвестном помещении или на незнакомой территории.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сорокин М.И. Лазерный дальномер и 2d сканирование помещения. Научно-практический электронный журнал «Аллея Науки». 2017. № 9. URL: http://alley-science.ru/domains_data/files/Journal_May2017/
2. Joe Minichino, Joseph Howse. Learning OpenCV 3 Computer Vision with Python. 2015. ISBN 13 9781785283840.
3. Sergiyenko O. Dynamic Laser Scanning method for Mobile Robot Navigation / O. Sergiyenko, V. Tyrsa, L. Devia, W. Hernandez, O. Starostenko, M. Rivas // Proceedings of ICCAS-SICE 2009, Fukuoka, Japan, 2009. – P. 4884–4889.
4. Lucas B.D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. Proc. of Imaging Understanding Workshop, 1981, pp. 121–130.
5. Библиотека OpenCV. URL: <https://opencv.org/>
6. Python Tutorial. URL: <https://www.tutorialspoint.com/python/>
7. OpenCV на python: наложение текста и графики URL: <http://robotclass.ru/tutorials/opencv-video-text-drawings/>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 28.04.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.07.2018

Визначення відстані до об'єкта та його геометричних параметрів у навігації робота

В. І. Барсов, О. В. Плахотний

Предметом дослідження в даній статті є процес визначення відстані до перешкоди і її геометричних розмірів, необхідних для вибору оптимального маршруту мобільного робота, що дозволяє обходити перешкоду в автоматичному режимі. **Ціль** - розробити процедуру та реалізуючий її алгоритм визначення відстані до перешкоди і її геометричних розмірів на основі використання одного джерела лазерного випромінювання. **Завдання:** на основі аналізу відомих підходів визначення відстані до перешкоди і визначення її геометричних розмірів розробити процедуру та реалізуючий її алгоритм, що дозволяє визначити відстань до перешкоди і її геометричні розміри, з використанням одного джерела лазерного випромінювання. Використаними підходами є: визначення відстані до перешкоди за допомогою лазерних далекомірів; визначення геометричних розмірів і форм перешкод на основі використання систем технічного зору; визначення відстані до перешкоди на основі застосування методу триангуляції. Отримані наступні **результати:** запропоновано підхід, що дозволяє з використанням тільки одного джерела лазерного випромінювання і веб-камери визначити не тільки відстань до перешкоди, але і її геометричні розміри, який на відміну від відомих, методів заснованих на застосуванні систем технічного зору не використовує «маяк» (об'єкт зі свідомо відомими розмірами) і системи стереозору. **Висновки:** запропонований в роботі підхід дозволяє визначити відстань до перешкоди з точністю в 97,4%, геометричні розміри з точністю 91%. Розглянута процедура і реалізує її алгоритм в подальшому можуть бути використані в системах навігації мобільних роботів.

Ключові слова: система технічного зору, мобільний робот, лазерний далекомір, перешкода, навігація.

Determining the distance to the object and its geometric parameters for navigating the robot

V. Barsov, O. Plakhotnyi

The **subject** of the study in this article is the process of determining the distance to the obstacle and its geometric dimensions necessary to select the optimal route for the mobile robot, which allows to bypass the obstacle in an automatic mode. The purpose is to develop a procedure and implement it algorithm for determining the distance to the obstacle and its geometric dimensions based on the use of a single source of laser radiation. The **problem:** based on the analysis of known approaches to determining the distance to the obstacle and determining its geometric dimensions, develop a procedure and an algorithm that realizes it, allowing to determine the distance to the obstacle and its geometric dimensions, using a single laser source. The approaches used are: determining the distance to the obstacle with the help of laser range finders; Determination of geometric dimensions and forms of obstacles based on the use of technical vision systems; Determination of the distance to the obstacle using the triangulation method. The **results** are obtained: an approach is proposed that allows using only one laser source and a web camera to determine the distance to the obstacle and its geometric dimensions. Unlike well-known, methods based on the application of technical vision systems do not use a "beacon" (an object with known known dimensions) and a stereo vision system. **Conclusions:** The approach proposed in the work allows us to determine the distance to the obstacle with an accuracy of 97.4%, geometric dimensions with an accuracy of 91%. The procedure considered and the algorithm that implements it can be used later in navigation systems for mobile robots.

Keywords: technical vision system, mobile robot, laser range finder, obstruction, navigation.