

СКАНИРУЮЩАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА

Максим Николаевич Бондарь

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20, аспирант кафедры оптических информационных технологий, тел. (383)346-23-12, e-mail: max_bond@mail.ru

Владимир Николаевич Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Игорь Сергеевич Гибин

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры оптических информационных технологий, тел. (383)333-25-74, e-mail: gibin@corp.nstu.ru

Описывается сканирующий лазерный дальномер, обеспечивающий измерение расстояния до 10 м погрешностью 0,01 м при круговом 360-градусном сканировании пространства. Использование триангуляционного принципа дальнометрии с применением многоэлементного фотоприемного устройства позволило разработать малогабаритную лазерную измерительную систему для робототехнических платформ производственного и специального назначения. С помощью микроконтроллера удалось рационально реализовать дискретный алгоритм работы системы в заданном секторе пространства.

Ключевые слова: робототехника, сканирующая измерительная система, лазерный дальномер, триангуляция, излучатель, многоэлементное фотоприемное устройство, микроконтроллер.

SCANNING MEASURING SYSTEM BASED ON TRIANGULAR LASER RANGEFINDER

Maxim N. Bondar

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Post-graduate Student, Department of Optical Information Technology, phone: (383)346-23-12, e-mail: max_bond@mail.ru

Vladimir N. Legkiy

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc, Prof. of the Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: jwp@aport2000.ru

Igor S. Gibin

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc., Prof. of the Department of Photonics and Optoinformatics, phone: (383)333-25-74, e-mail: gibin@corp.nstu.ru

A scanning laser range finder that provides distance measurement up to 10 m with an accuracy of 0.01 m for 360-degree circular scanning of space is described. Using the triangulation principle with a multi-element photodetector allows to creating a small-sized laser measuring system for robotic platforms for industrial and special purposes. Using the microcontroller allows to rationally implementing the discrete algorithm of the system in a given sector of space.

Key words: robotics, scanning measuring system, laser rangefinder, triangulation, emitter, multi-element photodetector, microcontroller.

Введение

Робототехнические системы производственного и специального назначения используют лазерные дальномеры в качестве основного датчика для локализации координат объектов и оптимизации траектории движения системы относительно препятствий. Стоимость и сложность в эксплуатации существующих дальномерных систем с функцией сканирования пространства не позволяют создавать эффективные и недорогие робототехнические платформы для строительства, транспорта, геодезии, навигации, для армии и силовых структур.

Существующие лазерные дальномеры [1,3,4,5] основанные на триангуляционном методе измерения имеют сравнительно небольшие габариты и схожие значения по точности измерения, однако они имеют ряд существенных недостатков: максимальная измеряемая дальность таких приборов достигает не более 6м; при проектировании таких систем используются дорогостоящие комплектующие: фотоприёмные устройства; программируемые логические интегральные схемы; небольшой диапазон рабочих температур от -20°C до 60°C.

Триангуляционный метод измерения и лазерный дальномер

Для решения задачи по построению сканирующей измерительной системы выбран триангуляционный (параллаксный) метод измерения [6, 20, 21], который успешно реализуется для целого ряда применений с достаточными показателями по точности и дальности.

Суть данного метода заключается в решении задачи треугольника по известной базе – стороне треугольника и измеренному углу между сторонами треугольника, образованными оптической осью лазерного излучателя и фотоприёмным устройством [2, 10].

Дальномер (рис.1) состоит из лазерного модуля поз. 1 и светосильного объектива поз.2, в фокальной плоскости которого установлен линейчатый фоточувствительный прибор (ЛФП) поз. 3.

Дальномер на основе метода триангуляции работает следующим образом. Лазерный модуль формирует световое пятно на предмете, до которого измеряется дальность [10, 11, 12]. Объектив (диаметр 50 мм) формирует на ЛФП (формат 1024 элемента) изображение этого пятна, положение которого в пределах линейки элементов зависит от измеряемой дальности [7, 13, 14, 15]. Принцип измерения дальности иллюстрируется на рис. 2. Погрешность измерения дальности можно определить по формуле (1).

$$\delta = \frac{D_{max}}{N_{эл}} = \frac{12м}{1024} = 0,01м. \quad (1)$$

где D_{max} – максимально измеряемая дальность, $N_{эл}$ – количество элементов ЛФП.

Так как оптические оси лазерного пучка и дальномера параллельны и смещены друг относительно друга на постоянное расстояние h , то изображение пятна на ЛФП смещено относительно оптической оси объектива, и величина этого смещения зависит от измеряемой дальности до предмета. Смещение ЛФП относительно оптической оси приемного объектива определяет рабочий диапазон измерений по дальности [2].

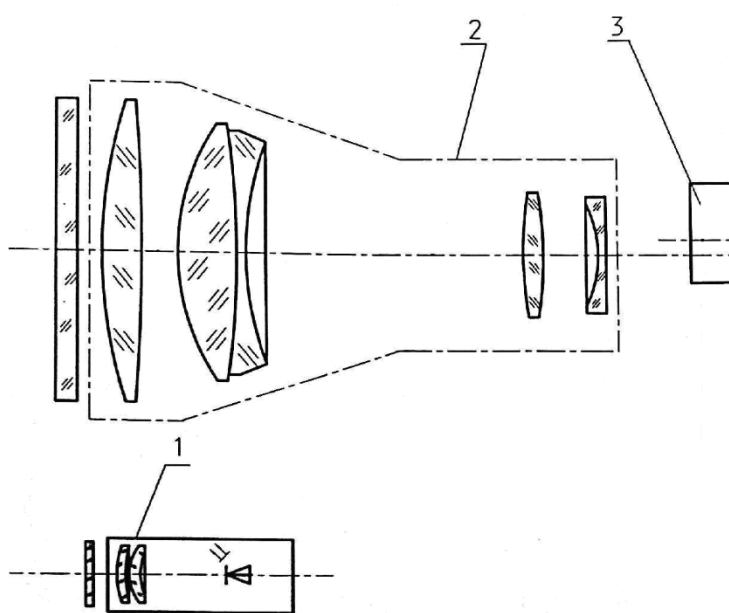


Рис. 1. Состав дальномера

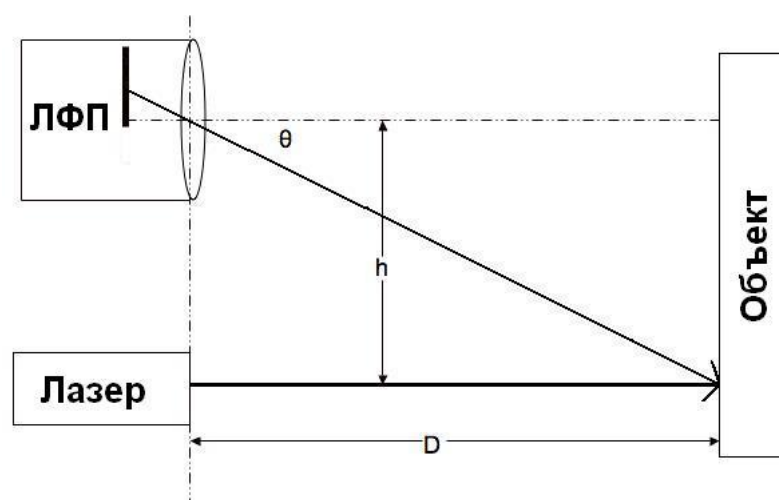


Рис. 2. Принцип измерения расстояния

Так как при изменении расстояния до экрана изменяется положение плоскости изображения относительно фокальной плоскости объектива, то изменяется и размер пятна на ЛФП, поэтому отсчет положения пятна ведется по расположению его центра тяжести [8, 9, 16, 17, 19].

Вычисление координат для построения карты

Для построения карты окружающего пространства используется следующий метод (рис. 3). Пусть начальная позиция робота $[x_0, y_0]$. Для каждой измеренной точки известно расстояние r . Первое измерение проводится под углом 45° , а каждое следующее измерение будет иметь угол меньше на $0,25^\circ$. Соответственно получается формула для вычисления угла:

$$\alpha = 45^\circ - (0,25^\circ \cdot N_{\text{изм.}}), \quad (2)$$

где $N_{\text{изм.}}$ – номер измерения.

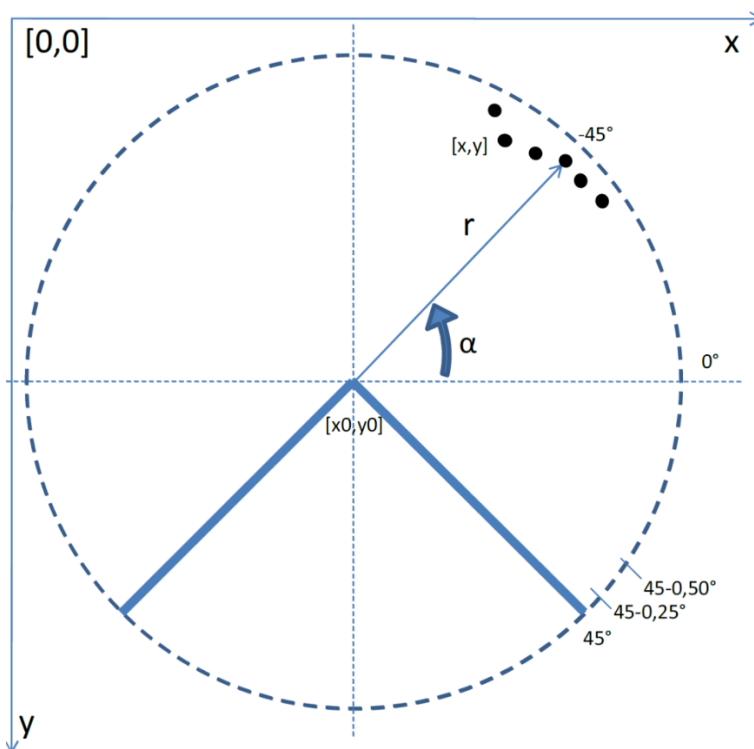


Рис. 3. Метод вычисления координат

Далее определяются координаты измеренных точек:

$$x = x_0 + r \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

$$y = y_0 + r \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

где x, y – координаты измеренной точки, x_0, y_0 – начальные координаты.

Система при построении карты может вращаться и менять своё положение, поэтому необходимо скорректировать формулы (3) и (4).

В результате получим следующие формулы для нахождения координат при движении и вращении [3]:

$$x = (x_0 + x_r) + r \cdot \cos(\alpha - \varphi_r), \quad (5)$$

$$y = (y_0 - y_r) + r \cdot \sin(\alpha - \varphi_r). \quad (6)$$

где x , y – координаты измеренной точки в матрице изображения; x_0 , y_0 – начальная позиция робота в системе координат матрицы изображения; x_r , y_r – координаты робота в системе координат робота; φ_r – общее вращение робота с учетом оси y_r .

Структура сканирующей измерительной системы

Структурная схема сканирующей измерительной системы приведена на рис. 4.

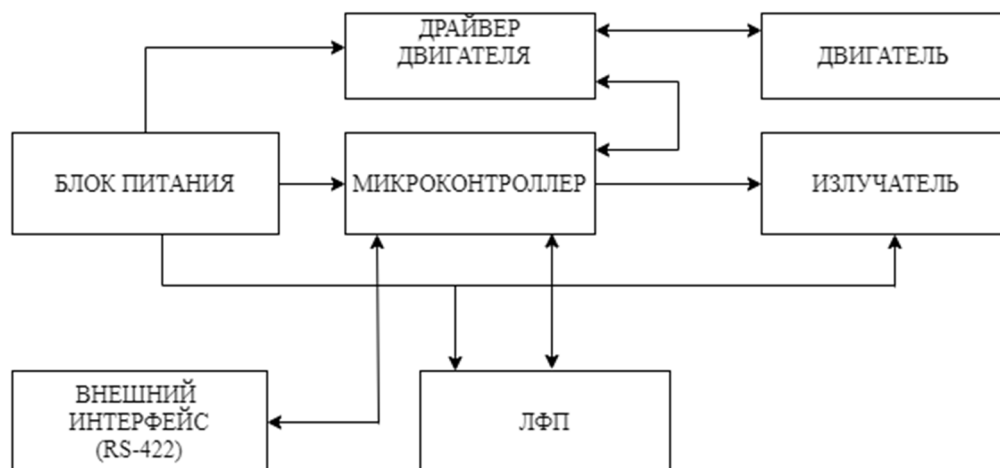


Рис. 4. Структурная схема сканирующей измерительной системы

Дальномер установлен на платформу, которую вращает шаговый двигатель, управляемый микроконтроллером через драйвер двигателя [3]. Через внешний интерфейс задается скорость вращения и угол поворота платформы.

После прихода команды на запуск, контроллер запускает излучатель и начинает процесс измерения. Оптическое излучение, отражённое от объекта, поступает на ЛФП, после чего микроконтроллер обрабатывает поступающие с него сигналы, вычисляет координаты центра тяжести пятна, производит необходимые вычисления и преобразования, рассчитывает дальность, производит вычисление координат измеряемого объекта и передает их на внешнее устройство [17,18,19].

В результате исследований разработана сканирующая измерительная система на основе триангуляционного лазерного дальномера.

Основные параметры измерительной системы приведены в табл. 1.

Параметры сканирующей измерительной системы

| Наименование параметра, характеристики | Значение параметра, характеристики |
|--|------------------------------------|
| Диапазон измерения расстояния D, м | 1...12 |
| Погрешность измерения, не более, мм | ±10 |
| Обмен информацией, тип интерфейса | RS-422 |
| Время готовности к работе, мин. | <0,5 |
| Диапазон рабочих температур, °С | -60 ... +60 |
| Напряжение питания, В | 4...12 |
| Габаритные размеры, мм | 100x116x50 |

Заключение

Разработана сканирующая лазерная система двойного назначения, измеряющая расстояние от 1 до 12 м триангуляционным методом, с заданной точностью 0,01 м при минимальных габаритных размерах.

Измерительная система с круговым сканированием пространства предназначена для робототехнических платформ производственного и специального назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. T. Danko. "Webcam Based DIY Laser Rangefinder", 2009 // https://sites.google.com/site/odddanko/home/webcam_laser_ranger.
2. М. Н. Бондарь, А. Д. Лаптева, С.А. Буднов. Триангуляционный лазерный дальномер. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2017» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. – с.58-62.
3. O. Haffer, F. Duchon. "Making a map for mobile robot using laser rangefinder", 2014 // https://www.researchgate.net/publication/269108642_Making_a_map_for_mobile_robot_using_laser_rangefinder.
4. K. Bosshardt, K. Hargett, J. Ritchie, A. Smeenk. "Laser Rangefinder", 2015 // <http://www.eecs.ucf.edu/seniordesign/su2015fa2015/g02/doc/Laser-Rangefinder.pdf>
5. K. Konolige, J. Augenbraun, N. Donaldson, C. Fiebig, P. Shah. "A Low-Cost Laser Distance Sensor". May 19-23, 2008, Pasadena, CA, USA. IEEE International Conference on Robotics and Automation. p. 3002 – 3008.
6. В.Б. Бокшанский, Д.А. Бондаренко, М.В. Вязовых, И.В. Животовский, А.А. Сахаров, В.П. Семенов. Лазерные приборы и методы измерения дальности : учеб. Пособие под ред. В.Е. Карасика. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 92с.
7. И.Д. Анисимов, И.М. Викулин и др. "Полупроводниковые фотоприемники. "-М.: Радио и связь, 1984. – 216с.

8. Зуев В.Е. "Прозрачность атмосферы для видимых и ИК-лучей. " – М.: Советское радио, 1966.
9. Марголин И.А., Румянцев Н.П. Основы инфракрасной техники. – М.: Воениздат, 1955. – 263с.
- 10 А.с. № 194086 Легкий В.Н., Миценко И.Д. Импульсный лазерный передатчик. - 1983.
11. Лёгкий В.Н., Трушин В.А., Миценко И.Д. Адаптивный лазерный измеритель расстояния. Патент РФ №2058525, приоритет от 25.07.1990г., бюлл. изобр. №11, 1996г.
12. Богданкевич О.В., Дарзек С.А., Елисеев П.Г. Полупроводниковые лазеры.- М.:Наука, 1976, 416с.
13. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для студентов вузов. – М.: Логос, 1999. – 480с.
14. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. –Л.:1966.
15. Гаврилов В.А. Прозрачность атмосферы и видимость. – М. – Л.:1958.
16. Андреева Е.В., Егоров Ю.Е. Вычислительная геометрия на плоскости // Информатика. 2002. №40. С. 28-31.
17. Легкий В.Н., Галун Б.В., Толбанов О.П. "Принципы построения помехоустойчивых миниатюрных лазерных импульсных дальномеров, высотомеров и датчиков для бортовых и транспортных систем". Оптический журнал. – 2011. - Т.78, вып. 5, - с.64-69.
18. Легкий В.Н., Топорков В.Д. "Лазерные системы ближней локации: оптоэлектронные датчики". Монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.
19. Шестов Н. С. "Выделение оптических сигналов на фоне случайных помех". – М.:Сов. радио, 1967, 347с.
20. Псарев А. А., Коваленко А. Н., Куприн А. М., Пирнак Б. И. Военная топография. М.: Воениздат, 1986. 384 с.
21. А.С.Батраков, М.М.Бутусов, Г.П.Гречка и др.Лазерные измерительные системы./ Под ред. Д.П.Лукьянова. – М.: Радио и связь, 1981, - 456с.

© М. Н. Бондарь, В. Н. Легкий, И. С. Гибин, 2020