

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО БЛИЖАЙШЕГО ОБЪЕКТА РАБОТ

Кабрера Пантоха Хосе Хесус

jjesus_10833@hotmail.com

SPIN-код: 5719-4003

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрена задача определения расстояния до ближайшего из объектов, расположенных в рабочей области, с помощью одной телекамеры, которая находится на мобильном роботе. Расстояние вычислено на основе анализа смещения особых точек объекта на двух последовательных изображениях, полученных от телекамеры. Для выделения особых точек использованы детекторы ORB, FAST и Harris detector, а для отслеживания их смещения — метод Люкаса и Кенедэ. Работоспособность предложенного алгоритма проверена с помощью моделирования и натурного эксперимента. Проверенный алгоритм имеет два решения. Эксперименты показали, что данный алгоритм позволяет вычислять расстояние до ближайшего объекта с допустимой точностью.

Ключевые слова

Мобильный робот, объект работы, телевизионная камера, особые точки изображения, вычисление расстояния, детектор Harris, детектор FAST, алгоритм, компьютерное зрение

Поступила в редакцию 31.10.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Определение расстояния до объекта работ.

В данной статье рассмотрена задача нахождения расстояния L от камеры до объектов работы [1–3]. Чтобы решить данную задачу, предлагается использовать одну камеру, которая расположена на мобильной платформе и движется со скоростью v , как показано на рис. 1.

Для того чтобы найти расстояния L от камеры до объекта, сначала объект детектировали и определяли его координаты на изображении. Потом камеру перемещали на расстояние B и снова определяли координаты объекта на новом изображении. В результате были получены координаты объекта на двух изображениях и определено его смещение (рис. 2).

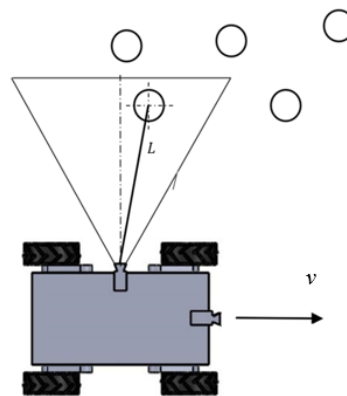


Рис. 1. Мобильный робот с телекамерой

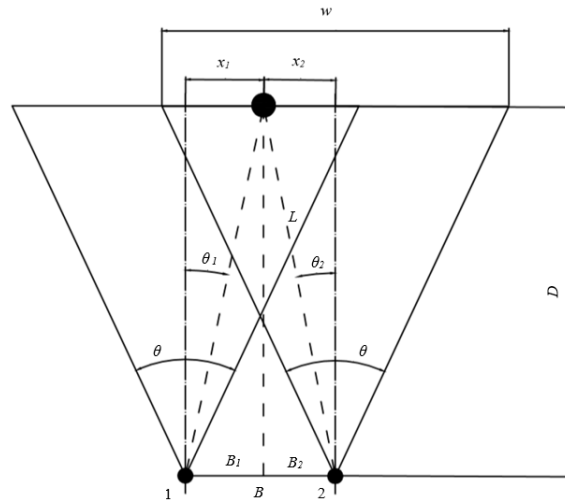


Рис. 2. Расположение объекта в поле зрения телекамеры до и после перемещения робота:

w — горизонтальный размер матрицы телекамеры; θ — угол зрения объектива; L — дальность до объекта; x_1, x_2 — координаты положения объекта в системе координат телекамеры; θ_1, θ_2 — направления на объект, расположенный точках x_1, x_2 ; D — расстояние между плоскостью объектива телекамеры и плоскостью расположения объекта; B — перемещение телекамеры

Учитывая, что $B = B_1 + B_2$ (см. рис. 2), находим значение D :

$$D = \frac{B}{\operatorname{tg} \theta_1 + \operatorname{tg} \theta_2}. \tag{1}$$

Используя геометрические построения, показанные на рис. 2, определяем сумму тангенсов углов. Для этого выполняем преобразования следующим образом:

$$D = \frac{\operatorname{tg} \theta_1}{x_1} = \frac{\operatorname{tg} \theta/2}{w/2} \quad \text{или} \quad D = \frac{\operatorname{tg} \theta_2}{-x_2} = \frac{\operatorname{tg} \theta/2}{w/2}.$$

Тогда

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{2x_1 \operatorname{tg} \theta/2}{w}; \quad \operatorname{tg} \theta_2 = \frac{-2x_2 \operatorname{tg} \theta/2}{w}.$$

В результате будем иметь

$$\operatorname{tg} \theta_1 + \operatorname{tg} \theta_2 = \frac{2 \operatorname{tg} \theta/2 \cdot (x_1 - x_2)}{w}. \tag{2}$$

Поставляя выражение (2) в уравнение (1), получаем формулу для определения D :

$$D = \frac{Bw}{2 \operatorname{tg} \theta / 2 \cdot (x_1 - x_2)}.$$

Теперь находим расстояние до объекта работ по формуле

$$L = \frac{Bw}{2 \operatorname{tg} \theta / 2 \cdot (x_1 - x_2) \cos \theta_2}. \quad (3)$$

Данная формула определяет расстояние до одной особой точки на изображении. Для того чтобы вычислить расстояние до объекта, определяем среднее значение этих расстояний по формуле

$$L_c = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{m}, \quad (4)$$

где $\sum_{i=1}^m L_i$ — расстояние до одной точки объекта; m — количество точек объекта.

Выделение особых точек. Как следует из уравнения (3), для определения дальности до объекта необходимо найти его положение на двух изображениях. Поскольку в общем случае объект может иметь произвольную форму, поиск выполняют в два этапа. На первом этапе в каждом изображении выделяют особые точки объекта, а затем их объединяют попарно. Если для выбранной точки первого изображения парная точка на втором изображении отсутствует, то ее исключают.

Для выделения особых точек были использованы классические детекторы Harris, FAST и ORB [4, 5]. Результаты их работы на тестовом примере показаны на рис. 3.

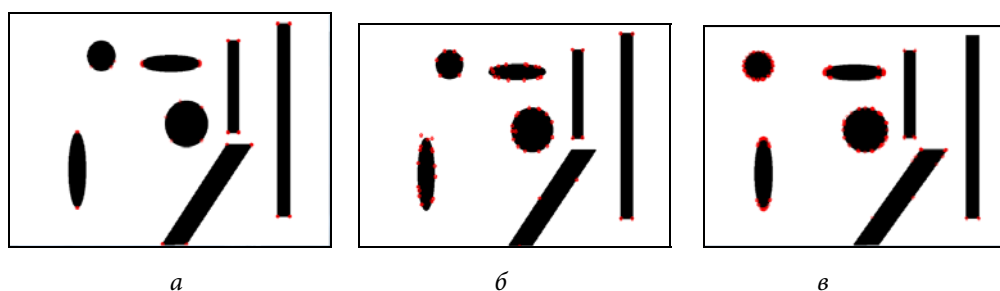


Рис. 3. Особые точки, выделенные с помощью детекторов ORB (а), Harris (б) и FAST (в)

Как видно на рис. 3, на данном тестовом изображении детектор FAST выделит мало особых точек по сравнению с другими детекторами. Например, на протяженных объектах, имеющих форму гиперболы, он нашел только крайние

точки. В то же время детектор Harris для этого объекта нашел практически все точки периметра.

Поиск пары особых точек. Поскольку среди объектов, показанных на рис. 6, лучше всего выделились особые точки окружности, в дальнейшем использованы объекты круглой формы. Особые точки, выделенные с помощью детектора ORB на первом и втором изображениях, показаны на рис. 4, *a* и *б* соответственно [6, 7].

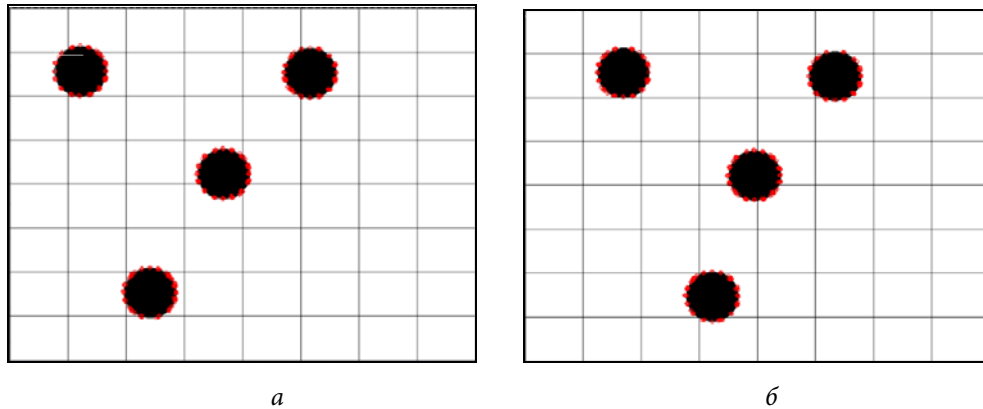


Рис. 4. Расположение объектов в начальном положении (*a*) и после перемещения камеры (*б*)

Для отслеживания смещения особых точек применяли метод Люкаса и Ке-неда. Найденные парные точки для четырех объектов *A*, *B*, *C* и *D* обозначены на рис. 5 синими и желтыми кружками соответственно. Отметим, что метод хорошо работает только при небольших смещениях, а если смещение велико, необходимо использовать «пирамиду» изображений [8]. При движении по пирамиде вверх небольшие перемещения исчезают, а размер больших перемещений уменьшается.

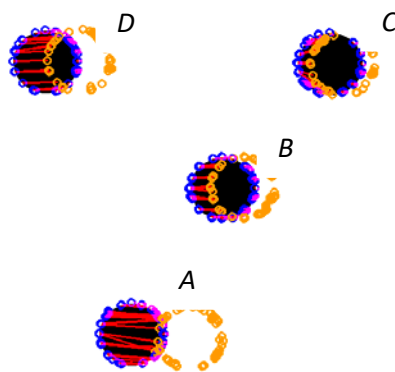


Рис. 5. Пары особых точек

Подставив значения смещений особых точек изображения в выражение (3), мы определили расстояния от телекамеры до каждой точки объекта. Результаты

работы предложенного алгоритма представлены на рис. 6, где по вертикальной оси отложено расстояние L .

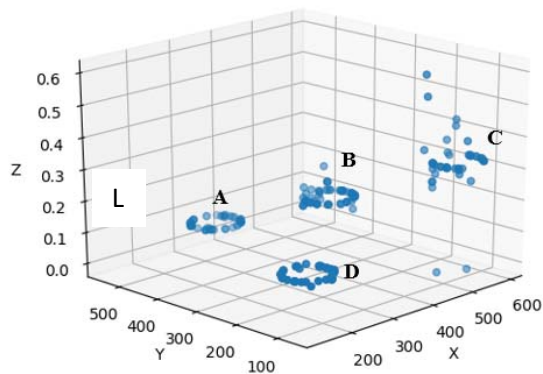


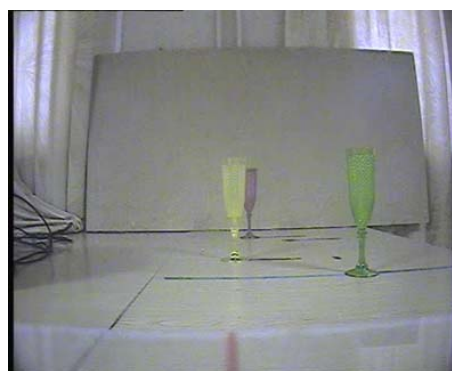
Рис. 6. Результаты расчета дальности

На рис. 6 показаны результаты поиска четырех объектов (A , B , C , D), которые находятся на разных расстояниях. В данном случае объект A располагался ближе остальных на расстояние $0,1$ м и его изображение имело максимальное смещение, а объект C находился дальше всех и смещение его особых точек было минимальным.

Результаты натурального эксперимента. Для проверки работоспособности данного алгоритма определения расстояния от камеры до объекта была использована телекамера с размером матрицы 640×480 пикселей, фокусным расстоянием 4 мм и полем зрения 68° . Для определения расстояния до объектов были получены два тестовых изображения: одно — в начальном положении (рис. 7, a), а второе — после смещения камеры на 300 мм (рис. 7, b).



a



b

Рис. 7. Изображения реальных объектов в начальном положении (a) и после перемещения телекамеры (b)

Алгоритм вычисления расстояния до объекта показан на рис. 8. После ввода изображения и выделения объектов алгоритм имеет два варианта решения.

В первом варианте реализовано рассмотренное выше решение, основанное на анализе смещения особых точек изображения объекта. Второй вариант применяется, если удастся выделить весь объект на изображении и определить координаты его центра масс. В этом варианте значение смещения центра масс используется для определения расстояния до объекта.

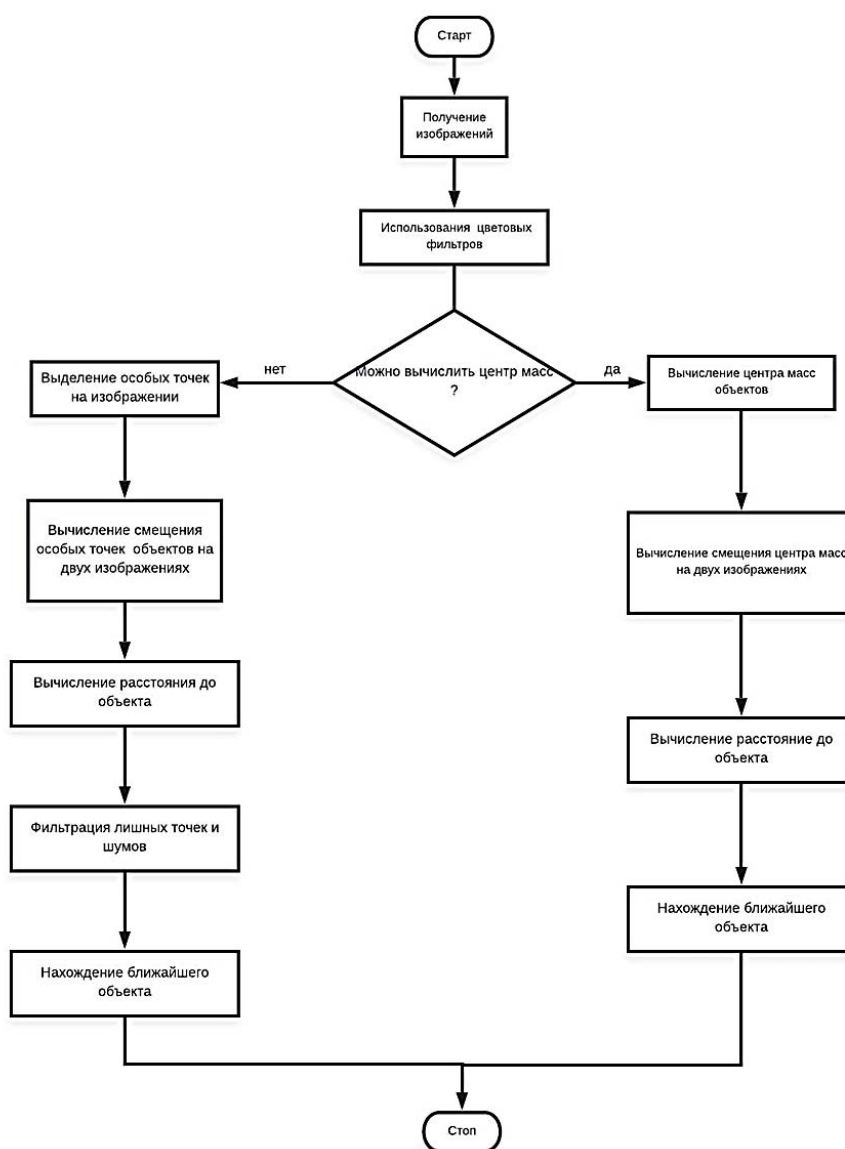


Рис. 8. Алгоритм выделения ближайшего объекта

Работа алгоритма была проверена с использованием среды MATLAB [9]. Изображения объектов, выделенные с помощью зеленого и желтого цветных фильтров, показаны на рис. 9. Далее на изображениях были найдены особые точки (рис. 10), вычислены значения смещений и определены расстояния до них с использованием первого варианта алгоритма.

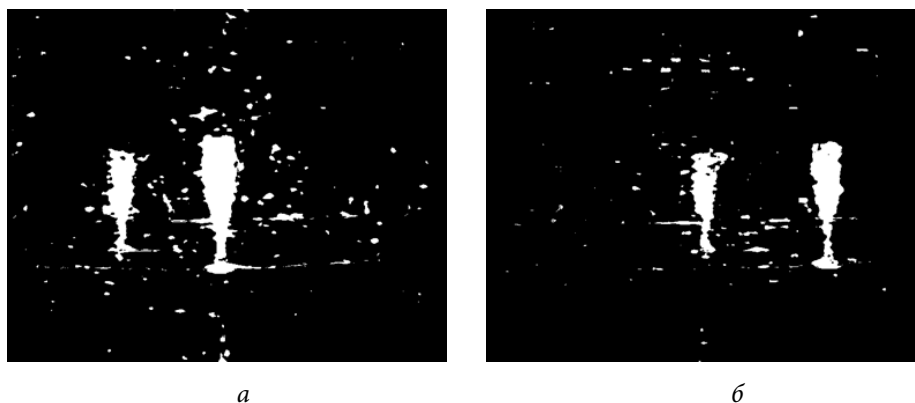


Рис. 9. Изображения после использования цветных фильтров в начальном положении (а) и после перемещения телекамеры (б)

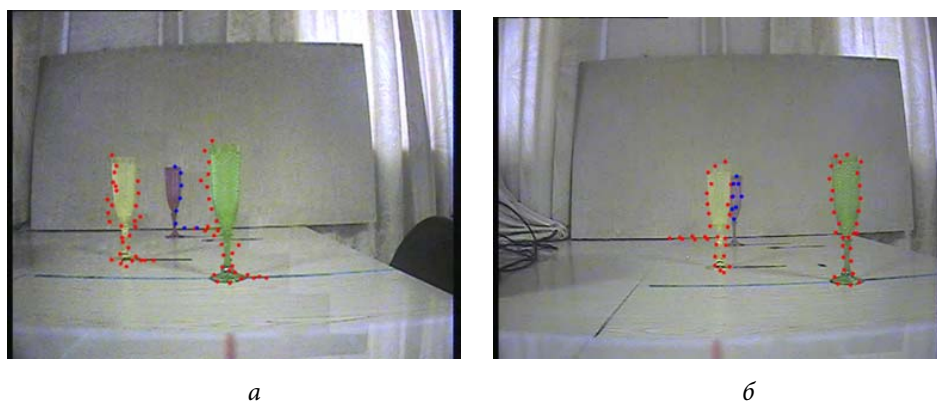


Рис. 10. Особые точки на изображениях в начальном положении (а) и после перемещения телекамеры (б)

Пространственное расположение особых точек объектов показано на рис. 11. Поскольку эксперимент проводился на реальной пространственной сцене, часть точек, показанных на рис. 11, а, не принадлежат объектам. Для их удаления была проведена пороговая фильтрация и затем определено расстояние до объектов (рис. 11, б)

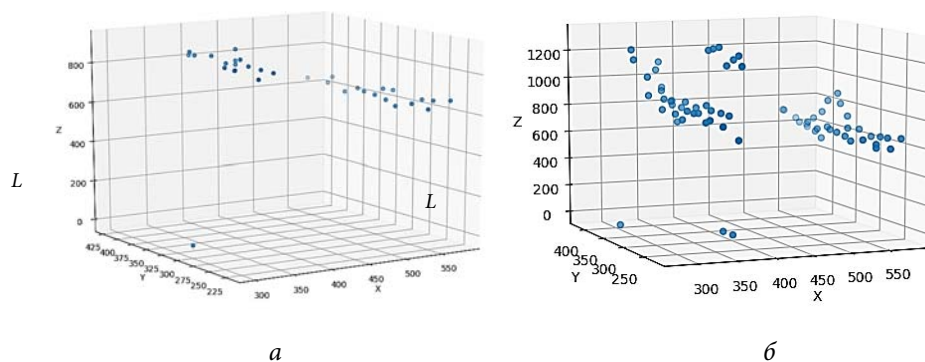


Рис. 11. Пространственное расположение особых точек объектов

При использовании второго варианта алгоритма выделены контуры объектов и определены координаты центров их масс на исходном и смещенном изображениях [10]. Полученные результаты показаны на рис. 12.

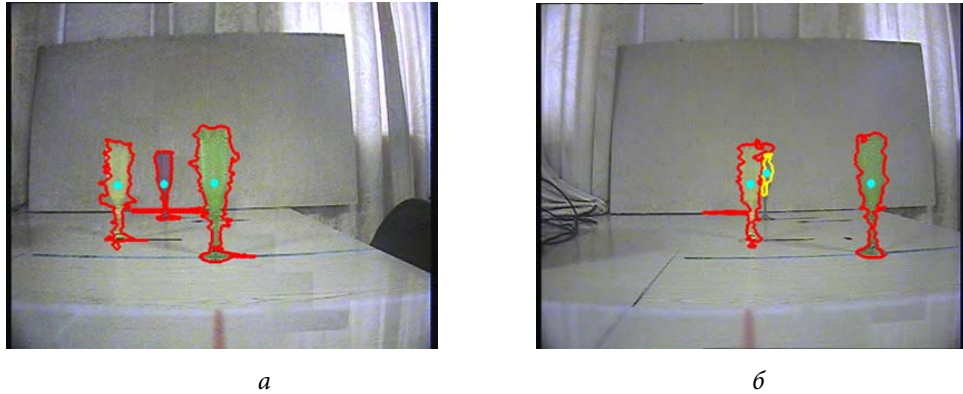


Рис. 12. Центры масс на изображениях объектов в начальном положении (а) и после перемещения телекамеры (б)

По величине смещения центра масс объектов определены расстояние до них по формуле (3). Полученное расположение объектов показано на рис. 13, из которого легко определить ближайший.

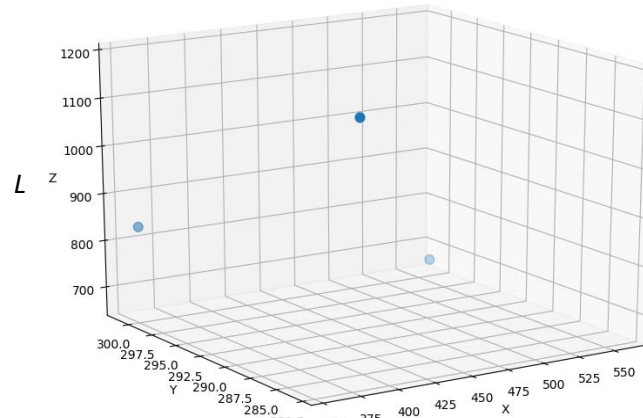


Рис. 13. Полученные результаты

Чтобы оценить полученные результаты, было вычислено среднее значение расстояния до особых точек объектов, показанных на рис. 11, б по формуле (4).

Полученные результаты работы предложенного алгоритма измерения расстояния до ближайших объектов сведены в таблицу.

Результаты измерений

Расстояние	Реальное расстояние, мм	Измеренное расстояние, мм		Погрешность измерений, %	
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2
До объекта 1	700	662,46	674,53	5,32	3,63
До объекта 2	880	837,59	852,31	5,30	3,14

Как видно из таблицы, оба варианта показывают допустимые отклонения от реальных значений. Полученные погрешности не превышают 5,5 %.

Заключение. Предложен метод измерения расстояния до ближайшего объекта, основанный на измерении смещения его изображения при перемещении телекамеры. Рассмотрены два варианта решения задачи. Проведенные эксперименты показали, что результаты измерений находятся в пределах допустимой погрешности и предложенный способ можно использовать для вывода мобильного робота к объекту работ.

Литература

- [1] Alizadeh P., Zeinali M. A real-time object distance measurement using a monocular camera. *Proc. IASTED Int. Conf. Modelling, Simulation and Optimization*, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.2316/P.2013.802-048>
- [2] Kim I., Yow K.Ch. Object location estimation from a single flying camera. *UBICOMM*, 2015, pp. 82–88.
- [3] Бай Ц. Система бинокулярного зрения для построения карты помещения и локализация мобильного робота. *Политехнический молодежный журнал*, 2018, № 11. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2018-11-405>
- [4] Sánchez J., Monzón N., Salgado A. An analysis and implementation of the Harris corner. *IPOLE*, 2018, no. 8, pp. 305–328. DOI: <https://doi.org/10.5201/ipole.2018.229>
- [5] Rublee E., Rabaud V., Konolige K., et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. *IEEE ICCV*, 2011, pp. 2564–2571. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126544>
- [6] Rosten E., Drummond T. Fusing points and lines for high performance tracking. *10th IEEE ICCV*, 2005, vol. 1, pp 1508–1515. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2005.104>
- [7] Конушин А. Слежение за точечными особенностями сцены (Point feature tracking). *Компьютерная графика и мультимедиа*, 2003, № 1(5). URL: <https://docplayer.ru/52828701-Slezhenie-za-tochechnymi-osobennostyami-sceny-point-feature-tracking.html> (дата обращения: 12.09.2019).
- [8] Гаганов В. Инвариантные алгоритмы сопоставления точечных особенностей на изображениях. *Компьютерная графика и мультимедиа*, 2009, № 7(1). URL: <http://masters.donntu.org/2012/iii/chigarev/library/article3.htm> (дата обращения: 12.09.2019).
- [9] Corke P. Robotics, vision and control. *Fundamental algorithms in MATLAB*. Springer, 2013.
- [10] Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.

Кабрера Пантоха Хосе Хесус — студент магистратуры кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Михайлов Борис Борисович, кандидат технических наук, работал на кафедре «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Кабрера Пантоха Хосе Хесус. Алгоритм определения расстояния до ближайшего объекта работ. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 01(42). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-01-572>

ALGORITHM FOR DETERMINING THE DISTANCE TO THE NEAREST WORK OBJECT

Cabrera Pantoha Jose Jesus

jjesus_10833@hotmail.com

SPIN-code: 5719-4003

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper considers the problem of determining the distance to the nearest of the objects located in the work area using a single camera, which is located on a mobile robot. The distance is calculated based on the analysis of the displacement of the specific points of the object in two successive images obtained from the camera. The ORB, FAST, and Harris detectors were used to isolate specific points, and the Lucas and Kenned method was used to track their displacement. The performance of the proposed algorithm was verified using simulation and a full-scale experiment. A proven algorithm has two solutions. The experiments showed that this algorithm allows one to calculate the distance to the nearest object with acceptable accuracy.

Keywords

Mobile robot, work object, television camera, image specific points, distance calculation, Harris detector, FAST detector, algorithm, computer vision

Received 31.10.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Alizadeh P., Zeinali M. A real-time object distance measurement using a monocular camera. *Proc. IASTED Int. Conf. Modelling, Simulation and Optimatization*, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.2316/P.2013.802-048>
- [2] Kim I., Yow K.Ch. Object location estimation from a single flying camera. *UBICOMM*, 2015, pp. 82–88.
- [3] Bay Ts. Mobile robot indoor map building and localization using binocular vision. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2018, no. 11. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2018-11-405> (in Russ.).
- [4] Sánchez J., Monzón N., Salgado A. An analysis and implementation of the Harris corner. *IPOL*, 2018, no. 8, pp. 305–328. DOI: <https://doi.org/10.5201/ipol.2018.229>
- [5] Rublee E., Rabaud V., Konolige K., et al. ORB: and efficient alternative to SIFT or SURF. *IEEE ICCV*, 2011, pp. 2564–2571. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126544>
- [6] Rosten E., Drummond T. Fusing points and lines for high performance tracking. *10th IEEE ICCV*, 2005, vol. 1, pp 1508–1515. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2005.104>
- [7] Konushin A. Point feature tracking. *Komp'yuternaya grafika i mul'timedia*, 2003, no. 1(5) (in Russ.). URL: <https://docplayer.ru/52828701-Slezhenie-za-tochechnymi-osobennostyami-sceny- point-feature-tracking.html> (accessed: 12.09.2019).
- [8] Gaganov V. Invariant match algorithms for point features of the images. *Komp'yuternaya grafika i mul'timedia*, 2009, no. 7(1) (in Russ.). URL: <http://masters.donntu.org/2012/iii/chigarev/library/article3.htm> (accessed: 12.09.2019).

- [9] Corke P. Robotics, vision and control. Fundamental algorithms in MATLAB. Springer, 2013.
- [10] Vorotnikov S.A. Informatsionnye ustroystva robototekhnicheskikh system [Information devices of robotic systems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2005 (in Russ.).

Cabrera Pantoha Jose Jesus — Master's Degree Student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Mihailov B.B., Cand. Sc. (Eng.), Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Cabrera Pantoha Jose Jesus. Algorithm for determining the distance to the nearest work object. *Politekhnicheskii molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 01(42). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-01-572.html> (in Russ.).