Научная статья
Original article
УДК 007.52

ЛОКАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПО МАЯКАМ С ПОМОЩЬЮ МОНОКАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

LOCALIZATION OF A MOBILE ROBOT BY BEACONS USING A MULTI-CAMERA VISION SYSTEM

Жаров Сергей Игоревич, магистр, Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, г. Москва, zhsi16m310@student.bmstu.ru .
Огородник Александр Иванович, ст. преподаватель, Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, г. Москва, alexander.ogorodnik@bmstu.ru .

Zharov Sergey Igorevich, Master, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, zhsi16m310@student.bmstu.ru .
Alexander Ivanovich Ogorodnik, Senior lecturer, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, alexander.ogorodnik@bmstu.ru .

Аннотация. В данной статье предложен алгоритм определения положения мобильного робота на плоской поверхности с помощью монокулярной СТЗ и объектов-маяков. Сформулированы основные этапы обработки получаемых роботом изображений. Проведена оценка погрешности определения положения робота в зависимости от расстояния до маяка.

Abstract. This article proposes an algorithm for determining the position of a mobile robot on a flat surface using a monocular STZ and beacon objects. The main stages of processing the images received by the robot are formulated. The estimation of the error in determining the position of the robot depending on the distance to the lighthouse was carried out.

Ключевые слова: локализация мобильного робота, система технического зрения, нейросетевые алгоритмы, реперные точки.

Keywords: localization of a mobile robot, a vision system, neural network algorithms, reference points.

Система технического зрения является источником основного объема информации, необходимой для обеспечения автономного движения робота и представляет собой сложную систему. Как правило, для автономной работы мобильного робота используются СТЗ, в которых комплексируются различные сенсоры, такие как монокамеры, стереокамеры, лазерные дальномеры, радары и пр. [1] .

В помещениях и урбанизированных средах, для получения координат окружающих объектов зачастую используют 2D-лазерный сенсор. На пересеченной местности применяются 3D-лазерные сенсоры [2]. Лазерные дальномеры представляют собой очень дорогие и сложные устройства, которые позволяют получать объемные изображения внешней среды, но требуют большого количества вычислений.

Робот может ориентироваться по заранее известным объектам - маякам. В работе Богуславского А.А., Сербенюка Н.С. и Соколова С.М. [3] рассматривается система технического зрения для навигации в среде, оборудованной специальными маяками. Система технического зрения состоит из зеркального конуса, ТВ-камеры, персонального компьютера, устройства ввода видеосигнала в ЭВМ и программного обеспечения. Окружающая обстановка проецируется зеркальным конусом в TV-камеру, обеспечивая на

получаемом изображении круговую видимость некоторой части окружающего пространства. По полученному изображению определяются направления и расстояния до маяков.

Часто для решения простых или хорошо детерминированных задач локализации, не требующих высоких точностей позиционирования, использование подобных дорогостоящих датчиков является необоснованным и излишним.

В данной статье предлагается алгоритм, решающий подобную задачу локализации по маякам с использованием всего одной камеры. Мобильный робот будет перемещаться по ровной асфальтированной поверхности, и его перемещение будут ограничивать объекты - маяки, представляющие собой дорожные конусы. Положение этих конусов на плоскости заранее не известно, но известны их форма и размеры. В работе предлагается с помощью одной “RGB” камеры, снимающей в разрешении “HD”, обнаруживать маяки в поле зрения робота, выявлять индексы пикселей реперных (ключевых) точек и, решая “P-n-P” задачу проективной геометрии [4], определять положение камеры (и соответственно, мобильного робота) относительно этих маяков - конусов.

Описание алгоритма

Предложенное решение можно разделить на три больших этапа:

Первый этап. Решение задачи детектирования конусов. На изображении выделяются прямоугольники, охватывающие обнаруженные конусы (рис.1). На данном этапе полученное с камеры изображение было обработано цифровым медианным фильтром [6]. Механизм детектирование конусов был основан на алгоритме “YOLO” [5]. На данном этапе может быть использован любой нейросетевой детектор объектов или комплекс “классических” методов цифровой обработки изображений. По полученным прямоугольникам из

исходного изображения извлекается каждый конус, на котором, впоследствии, будут обнаружены реперные точки.



Рис.1 Выделение обнаруженных конусов (синие прямоугольники)

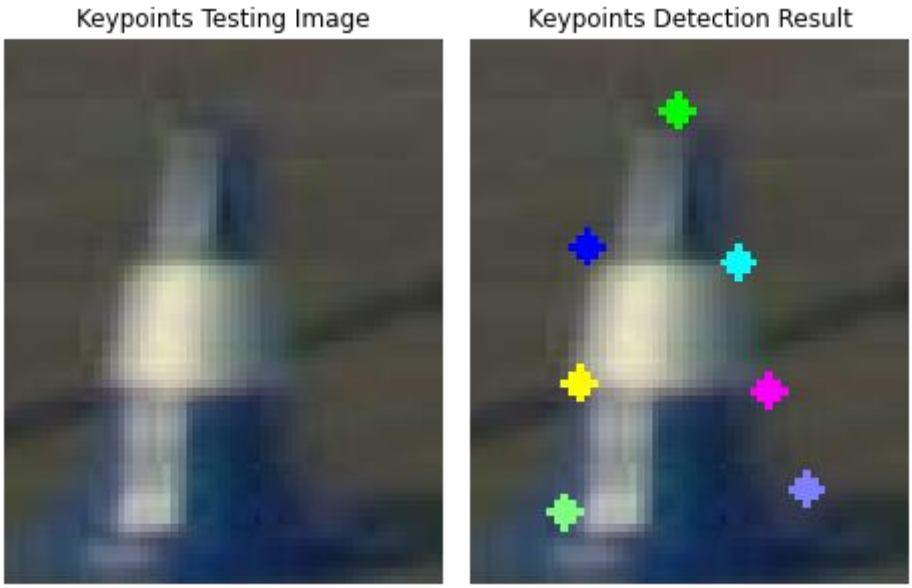

Рис.2 Пример обнаружения реперных точек в полученном ограничивающем прямоугольнике

Второй этап. На полученных изображениях обнаруживаются реперные точки, и вычисляются координаты пикселей этих точек на исходном изображении (рис. 3). На этом этапе использовалась нейросеть, основанная на архитектуре “MobileNetV2” с добавлением разделяемых по глубине сверточных слоев. Она была натренирована извлекать из изображения координаты семи реперных точек, геометрические зависимости между которыми заранее известны. Полученная компактная нейросеть из-за своих размеров может эффективно исполняться на мобильных устройствах и не требует большого количества вычислительных операций.



Рис.3 Результат вычисления координат ключевых точек на исходном изображении

В результате выполнения второго этапа, для каждого конуса вычисляется матрица размера (7x2) с индексами пикселей реперных точек в ограничивающем прямоугольнике. Эти значения транслируются в систему координат связанную с исходным изображением. Таким образом для каждого маяка вычисляется положение пикселей реперных точек на плоскости изображения.

Третий этап. На заключительном этапе решается задача “P-n-P” для 7 точек, координаты которых в системе связанной с конусом заранее известны. Для решения данной задачи необходимо заранее откалибровать камеру, для получения матрицы ее внутренних параметров и коэффициентов дисторсии.

Также важно заметить, что для однозначного определения положения объекта-маяка необходимо выделить на нем не менее 4 реперных точек.

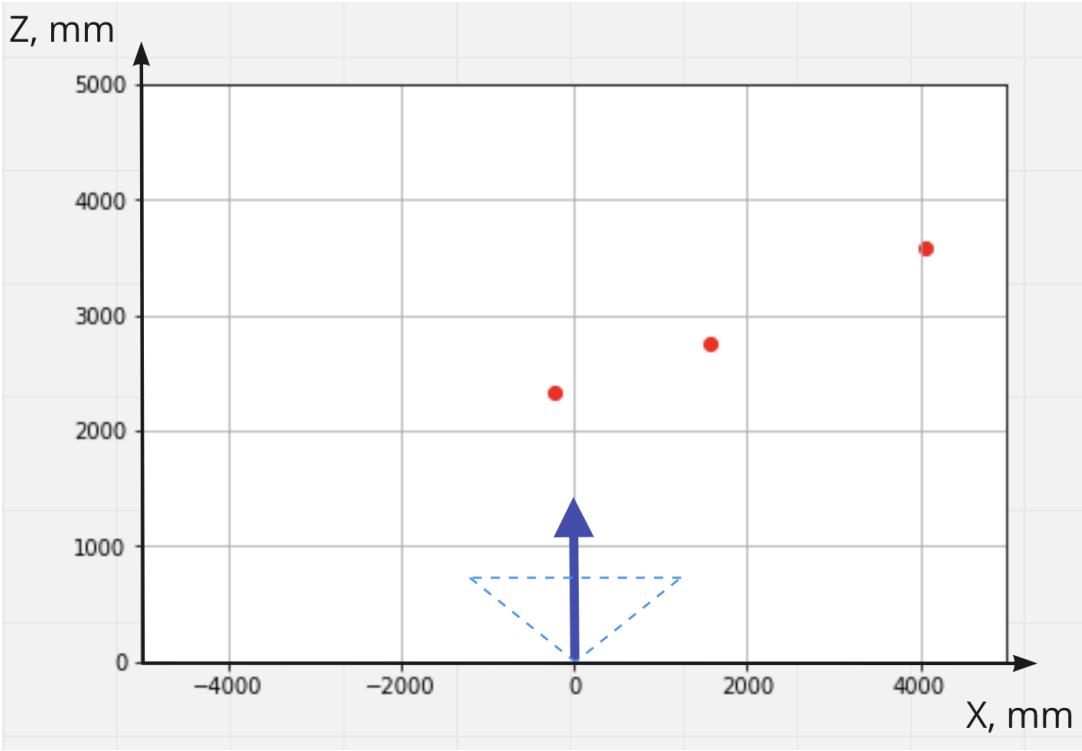

Рис.4 Координаты конусов в проекции на плоскость XZ (совпадает с проекцией на плоскость дороги)

В результате, вычисляется вектор трансляции, описывающий смещение конуса относительно камеры робота. Это смещение измеряется в миллиметрах. на рис.4 визуализировано вычисленное положение трех конусов, представленное на входном изображении. Здесь объекты - маяки - это красные точки, синяя стрелка и пунктирные линии схематически изображают направление взгляда камеры СТЗ. Третий этап предлагаемого алгоритма был реализован с помощью программных средств библиотеки “OpenCV”.

Оценка точности алгоритма определения координат маяков

Т.к нейросеть определяет координаты точек с некоторой погрешностью, связанную с шумом на изображении и внутренним устройством, необходимо смоделировать работу алгоритма на разных расстояниях, и проверить насколько

сильно ошибки в координатах могут повлиять на определения расстояния до конуса. Необходимо математически смоделировать случайную погрешность в определении ключевых точек на изображении и оценить ошибку определения координат конусов.

Алгоритм, рассмотренный выше, позволяет из проекции искомого конуса определить матрицу поворота и вектор трансляции, описывающие координаты точк конуса относительно камеры робота. Для нужд локализации роботу необходимо знать дистанцию до центра искомого объекта. Эта точка принята за начало системы координат конуса. Таким образом, для определения положения конуса относительно камеры, необходимо вычислить только вектор трансляции для каждого конуса, обнаруженного на изображении.

Описанное преобразование можно представить в виде функции двух переменных:

$$s = f(u, v) \quad (1)$$

где u и v - координаты пикселей реперных точек в системе изображения.

Иными словами, можно представить алгоритм как функцию, преобразующую индексы пикселей ключевых точек в координаты конуса относительно камеры.

Для математической оценки точности алгоритма, необходимо провести несколько экспериментов (например 1000) с конусом, отстоящим от камеры на разных расстояниях. Смоделируем работу второго этапа алгоритма (обнаружение реперных точек) с некоторой ошибкой, обусловленной шумом в видеопотоке, смазыванием кадров от вибрации и движения робота и т.п. К индексам пикселей полученных точек будет прибавляться нормально распределенная случайная величина, не выходящая за рамки диапазона [-10, 10] пикселей. Тогда значение функции, описывающей алгоритм можно представить как в формуле (1), а значение с моделируемой ошибкой:

$$s' = f(u + \Delta u, v + \Delta v) \quad (2)$$

где Δu и Δv - малые приращения аргументов u и v соответственно.

Таким образом можно вычислить значение полного дифференциала функции:

$$\Delta s = f(u + \Delta u, v + \Delta v) - f(u, v) \quad (3)$$

Т.к. робот едет по плоской поверхности дороги, положение конуса необходимо рассматривать только в плоскости XZ (ось Y камеры перпендикулярна плоскости дороги). Следовательно, длина полученного вектора Δs (без учета “y” координаты) будет описывать расстояние на которое алгоритм “ошибся”. Усредненные результаты экспериментов и графики приведены ниже.

Таблица 1. Средняя ошибка определения расстояния на разном отдалении

Расстояние до конуса, м	Полученная средняя ошибка, м
0,3	0.005
2,3	0.025
4,3	0.036
6,3	0.526
8,3	0.828
10,3	1.160

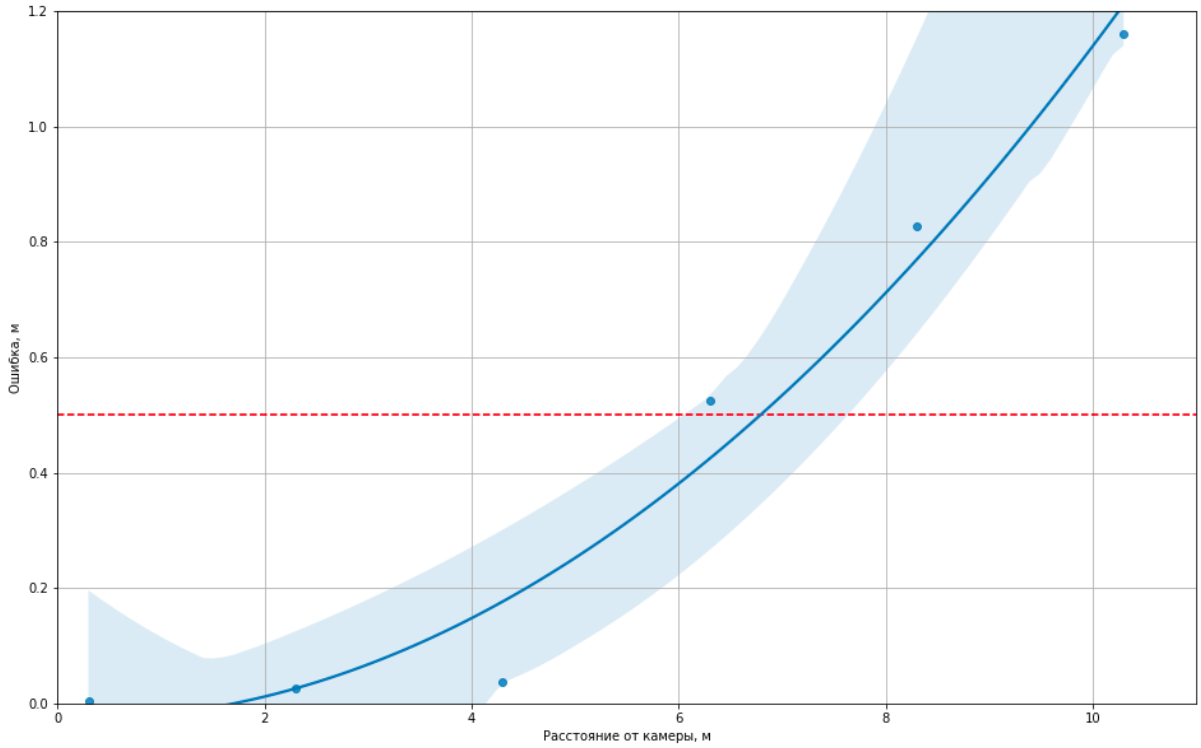

Рис.5 Аппроксимированные график ошибки

На рис.5 синими точками изображены значения из таблицы 1, синяя линия - это полином 2 порядка, аппроксимирующий результаты экспериментов. Красной линией выделена граница для значения ошибки на дистанции до 5 метров. Как видно из этого графика, даже с учетом возможного разброса значений, ошибка не превышает 0.5 метра, на расстоянии до 6 метров включительно.

Таким образом, предложенный алгоритм на дистанции до 5 метров гарантированно определяет положение маяков относительно робота с погрешностью не превышающую 10% от вычисленного расстояния. Это позволяет получить достаточно грубую оценку положения робота, и использовать достаточно простую и дешевую систему технического зрения, для нужд автономной работы мобильного робота. Описанное решение не пригодно для работы с маяками, находящимися на большом отдалении в силу экспоненциального роста погрешности локализации. Точность можно увеличить за счет использования камер с большим разрешением, использования в качестве

маяков - более крупных объектов, хорошо различимых вдали. Полученные данные можно использовать для локализации мобильного робота и построения карты местности.

Литература

1. Вазаев Александр Викторович, Носков Владимир Петрович, Рубцов Иван Васильевич, Цариченко Сергей Георгиевич Распознавание объектов и типов опорной поверхности по данным комплексированной системы технического зрения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. №2 (175)
2. Носков Владимир Петрович, Рубцов Иван Васильевич Ключевые вопросы создания интеллектуальных мобильных роботов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. №3 (15).
3. Богуславский А.А., Сербенюк Н.С., Соколов С.М. СТЗ для навигации подвижного робота по маякам на основе анализа конической проекции окружающего пространства на ТВ камеру
4. George Terzakis and Manolis Lourakis. A consistently fast and globally optimal solution to the perspective-n-point problem. In European Conference on Computer Vision, pages 478–494. Springer International Publishing, 2020.
5. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 779-788, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений, Издание 3-е, исправленное и дополненное, Москва: Техносфера, 2012. – 1104 с. ISBN 978-5-94836-331-8

References

1. Vasaev Alexander Viktorovich, Noskov Vladimir Petrovich, Rubtsov Ivan Vasilyevich, Tsarichenko Sergey Georgievich Recognition of objects and types of the reference surface according to the integrated vision system // News of the SFU. Technical sciences. 2016. №2 (175)

2. Noskov Vladimir Petrovich, Rubtsov Ivan Vasilyevich Key issues of creating intelligent mobile robots // Engineering Journal: Science and Innovation. 2013. No.3 (15).

3. Boguslavsky A.A., Serbenyuk N.C., Sokolov S.M. STZ for navigation of a mobile robot by lighthouses based on the analysis of a conical projection of the surrounding space on a TV camera

4. George Terzakis and Manolis Lourakis. A consistently fast and globally optimal solution to the perspective-n-point problem. In European Conference on Computer Vision, pages 478–494. Springer International Publishing, 2020.

5. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 779-788, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.

6. Gonzalez R., Woods R. Digital Image Processing, 3rd Edition, revised and supplemented, Moscow: Technosphere, 2012. - 1104 p. ISBN 978-5-94836-331-8

© Жаров С.И., Огородник А.И., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.

Для цитирования: Жаров С.И., Огородник А.И. ЛОКАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПО МАЯКАМ С ПОМОЩЬЮ МОНОКАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022