

## КАЛИБРОВКА ДЕФЕКТНОЙ СТЕРЕОПАРЫ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИПОВЫХ ШАБЛОНОВ

Сафин Р. Н., Лавренов Р. О., Магид Е. А.

*Лаборатория Интеллектуальных Робототехнических Систем,  
Высшая Школа Информационных Технологий и Информационных Систем,  
Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань,  
{safin.ramil, lavrenov, magid}@it.kfu.ru*

*Аннотация. Работа посвящена решению проблемы калибровки системы стереозрения мобильного робота «Сервосила Инженер». Камеры робота были смещены относительно друг друга в ходе эксплуатации, что усложняет процесс калибровки. В данной работе проанализированы два типовых метода калибровки камер, и проведена экспериментальная калибровка дефектной стереопары робота.*

*Ключевые слова: калибровка, аппаратный дефект, мобильный робот, автономный транспорт.*

На сегодняшний день бортовые камеры являются ключевыми аппаратными элементами, обеспечивающими машинное зрение мобильных робототехнических систем и автономного транспорта. Процедура калибровки бортовых камер позволяет повысить точность измерений и эффективность работы алгоритмов машинного зрения. Калибровка камеры используется для вычисления ее внутренних (англ. intrinsic) и внешних (англ. extrinsic) параметров, параметров системы камер в целом (например, стереопары) и коэффициентов искажения линз. Внешние и внутренние параметры камеры позволяют трансформировать объекты из 3D пространства в 2D изображение и наоборот [1-2]. В случае систем, состоящих из более чем одной камеры, внутренние параметры вычисляются отдельно для каждой из камер, а внешние – для всей системы в целом, чтобы определить расположение камер относительно друг друга [3].

Линзы камер мобильного робота «Сервосила Инженер», используемого нашей лабораторией, обладают свойством искажать полученное изображение, нарушая геометрическую форму объектов, которые находятся ближе к границам кадра. Вторая проблема калибровки связана с расположением одной из камер, составляющих систему стереоскопического зрения робота: передняя правая камера смещена вверх (Рис. 1), что ограничивает возможности по имплементации алгоритмов стереозрения (таких как визуальный SLAM [4]) и приводит к потере информации в процессе ректификации.

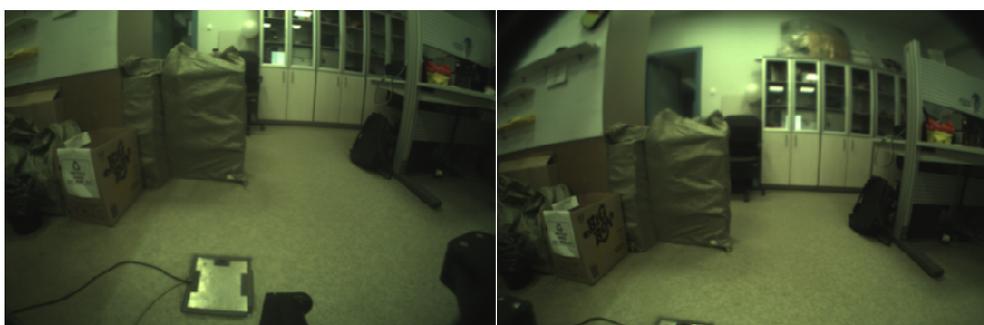


Рис. 1. Искаженные кадры, полученные системой стереозрения робота «Сервосила Инженер»: слева – передняя левая камера, справа – передняя правая камера

При проведении экспериментальной работы с роботом «Сервосила Инженер» калибровка камер осуществлялась на основе типовых двумерных калибровочных шаблонов, в том числе шахматной доски (англ. checkerboard, СНКВ) и группы кругов (англ.

circle grid, CG). Для вычисления внешних и внутренних параметров камеры использовался алгоритм, реализованный в библиотеке OpenCV. Калибровка камер проводилась на основе робототехнической операционной системы ROS, пакета camera\_calibration [5]. Нами были апробированы шаблоны СНКВ различного размера с различным количеством клеток (Таблица 1) и шаблон CG размером 6x6 с диаметром круга в 23 мм [6].

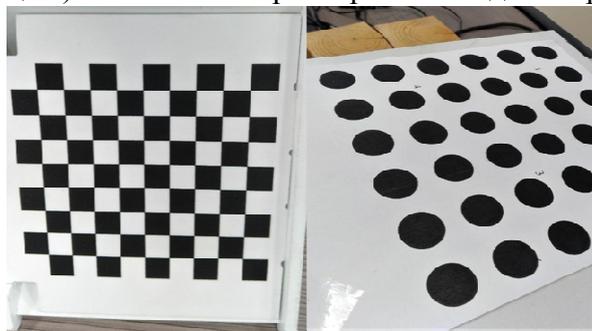


Рис. 2. Использованные при калибровке шаблоны: слева – СНКВ, справа – CG

Таблица 1. Размеры шаблонов СНКВ, использованных в эксперименте

Номер шаблона	Размер клетки, мм	Размер шаблона (столбцов x строк)	Эпиполярная ошибка (пиксели)
1	26	8x6	0.33
2		9x6	0.35
3	46	8x6	1.09
4		11x7	0.48

Экспериментальная калибровка камер робота двумя различными видами шаблонов, CHRВ и CG, показала, что метод калибровки шаблоном CG позволяет добиться более точной калибровки по сравнению с CHRВ: 0.18 для CG против 0.33 для шаблона CHRВ №1. При калибровке шаблоном CHRВ также необходимо учитывать его размеры: большой размер шаблона увеличивает нагрузку на систему при калибровке, так как необходимо обработать большее количество элементов шаблона. Несмотря на потерю около 20% информации в результате процесса ректификации при калибровке по вине аппаратного дефекта (смещение камер), успешная калибровка камер позволяет роботу «Сервосила Инженер» более точно взаимодействовать с окружающей средой.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-58-45017).*

1. Fiala M., Shu C. Fully automatic camera calibration using self-identifying calibration targets [Text] // Techn. Rep. – 2005. – Vol. 48306. – p. 26.
2. Suriansky J., Cmarada M. Analysis of methods for camera calibration in 3D scanning systems [Text] // Annals & Proc. of DAAAM Int. - 2012. - Vol. 23. - №. 1. - pp. 0365-0368.
3. Heikkila J., Silven O. A four-step camera calibration procedure with implicit image correction [Text] // Computer Vision and Pattern Recog., 1997. Proc., 1997 IEEE Computer Soc. Conf. on. – IEEE, 1997. – pp. 1106-1112.
4. Buyval A., Afanasyev I., Magid E. Comparative analysis of ROS-based monocular SLAM methods for indoor navigation // Ninth Int. Conf. on Machine Vision (ICMV 2016). – Int. Society for Optics and Photonics, 2017. – Vol. 10341. – p. 103411K.
5. camera\_calibration - ROS Wiki. [Электронный ресурс] // wiki.ros. – Режим доступа: [http://wiki.ros.org/camera\\_calibration](http://wiki.ros.org/camera_calibration), свободный (дата обращения: 05.06.2018).
6. Luo P. F., Wu J. Easy calibration technique for stereo vision using a circle grid [Text] // Optical Engineering. – 2008. – Vol. 47. – No. 3. – p. 033607.