

УДК 680.621.384

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КАЛИБРОВОЧНОГО СТЕНДА

Чусова У. П., студентка гр. УКм-161, V-курс  
Научный руководитель: Корецкая Г. А.  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Роботизация и автоматизация производства является одним из самых популярных и быстроразвивающихся направлений. Промышленные роботы должны заменить монотонный человеческий труд, а также заменить человека на опасных производствах. Наиболее актуальной на сегодняшний день является задача автономного управления с использованием датчиков визуальной навигации [1].

В связи с этим цель исследования заключается в создании программного обеспечения, позволяющего строить объемную модель окружающего пространства с применением бинокулярной системы технического зрения (БСТЗ) для навигации мобильным роботом. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать устройства и методы, позволяющие реализовать навигацию мобильных роботов, а также изучить существующие разработки и действующие проекты;
- проанализировать принцип работы бинокулярной системы технического зрения и спроектировать экспериментальный стенд, состоящий из двух камер с фиксированным фокусным расстоянием;
- изучить математическое описание калибровки, ознакомиться с методом классической калибровки и с алгоритмами построения объемной модели;
- разработать программное обеспечение для построения карты глубины внешней среды;
- провести экспериментальное исследование и проанализировать результаты.

В данной работе на основе анализа устройств и методов, позволяющих реализовать навигацию мобильных роботов, предложена структурная схема проектируемой бинокулярной системы и разработан экспериментальный калибровочный стенд БСТЗ. Бинокулярное зрение – это способность одновременно воспринимать информацию об окружающей среде обоими глазами, благодаря чему обеспечивается объемное восприятие сцены и объектов. Оно позволяет вычислить их взаимное расположение в трехмерном пространстве.

Бинокулярные системы технического зрения основаны на бинокулярном зрении, которым обладает человек, в соответствии с рис. 1.

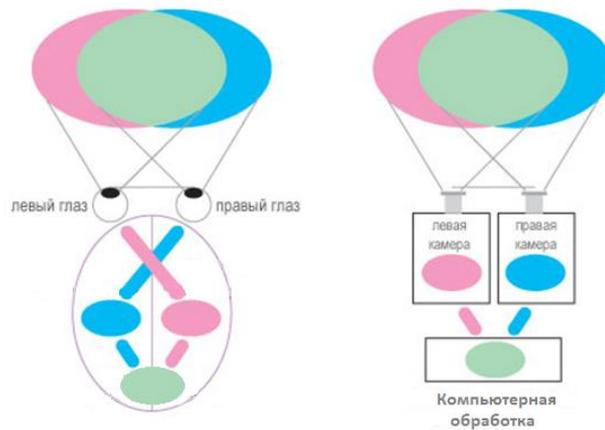


Рис. 1. Бинокулярное зрение и соответствующая бинокулярная система

Используя алгоритмы фотограмметрии, появляется возможность оценить расстояние до анализируемой сцены и получить объемную модель окружающей среды в реальном времени с помощью изображений от двух видеокамер. Основопологающей задачей при разработке подобных систем является процедура калибровки видеокамер, представляющих собой стереопару, т.к. могут возникнуть проблемы с точностью соотношения двух камер относительно друг друга и внутренними настройками камеры, что приведет к получению искаженного изображения [2].

Задачей оценки структуры сцены является определение координат точек в пространстве. Необходимо вычислить параметры камер и, используя метод триангуляции, в соответствии с рис. 2, определить соотношения между двумя изображениями.

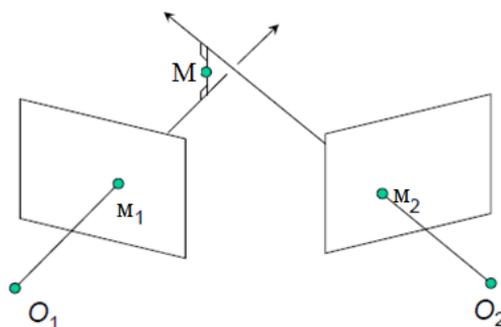


Рис. 2. Метод триангуляции

На рис. 2 два снимка одной сцены получены с разных точек проекций. Пусть дана точка в пространстве и известны две камеры с центрами проекций  $O_1$ ,  $O_2$ , на которых измерены точки  $m_1$ ,  $m_2$ , являющиеся образами одной и той же точки пространства  $M$ . Для вычисления координат точки  $M$ ,  $m_1$  и  $m_2$  ставим в соответствие лучи, и так как обычно они не пересекаются, то ищем общий перпендикуляр и среднюю точку, применяя метод средней точки.

В предлагаемой системе бинокулярного зрения используются две идентичные камеры, расположенные друг от друга на фиксированном расстоянии  $d=15$  см (обычно оптимальное значение до десятков сантиметров), в соответствии с рис. 3.

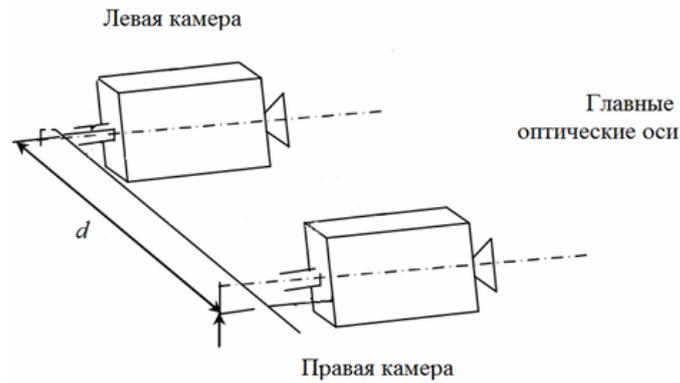


Рис. 3. Расположение камер в предлагаемой бинокулярной системе

Камеры размещены в одной плоскости таким образом, что главные оптические оси камер являются взаимно параллельными друг другу и перпендикулярными плоскости камер. Установка является мобильной. На начальном этапе разработки стереосистема вмонтирована на штатив, в дальнейшем – перенесена на мобильного робота.

Главным достоинством данной установки (рис. 3), является высокая точность распознавания объектов на близких расстояниях, однако при большем отдалении анализируемой области погрешность возрастает.

Реализацию проектируемой системы можно разделить на четыре основных этапа:

- получение изображений;
- калибровка камер;
- оценка глубины;
- автономное управление мобильным роботом (рис. 4).

Геометрическая схема проектируемой установки представлена на рис. 5. Две камеры с оптической осью параллельны друг другу и находятся на расстоянии  $d=15$  см.



Рис. 4. Структурная схема проектируемой бинокулярной системы

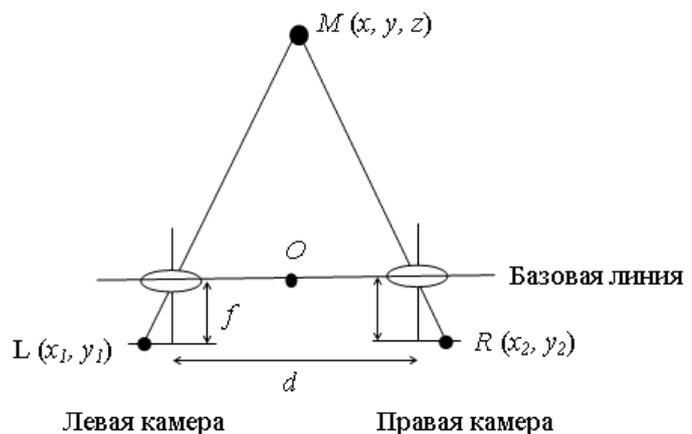


Рис. 5. Геометрическая схема установки:  $f$  – фокусное расстояние обеих камер; начало координат точка  $O$ ;  $M(x, y, z)$  – точка в мировых координатах в пространстве (3D);  $L(x_1, y_1)$  – левая и  $R(x_2, y_2)$  – правая проекции точки  $M$

Формулы для вычисления трехмерные координаты точки:

$$x = -\frac{x_1 \cdot d}{x_1 - x_2}, y = -\frac{y_1 \cdot d}{y_1 - y_2}, z = -\frac{f_L(x_1 - x_2 - d)}{x_1 - x_2}.$$

Для проведения эксперимента используются 2 идентичные USB-камеры *LogitechC270* с техническими характеристиками:

Разрешение матрицы	0.9 Мп
Размер и тип сенсора	CMOS
Видеоразрешение	1280x720
Дополнительно	Автоматическая коррекция освещенности Технология <i>LogitechFluidCrystal</i> Фотосъемка до 3,0 мегапикселей
Тип фокусировки	<i>Fixed Focus</i> (от 40 см)

Конечная функциональная схема стенда представлена на рис. 6, внешний вид установки – на рис. 7.

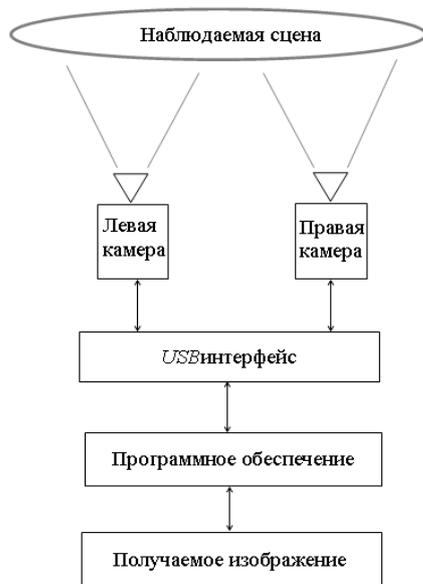


Рис. 6. Функциональная схема стенда



Рис. 7. Внешний вид установки

Разработанный экспериментальный стенд имеет простую конструкцию.

Он позволяет получить трёхмерное изображение объектов и сцен в реальном времени и построить объёмную модель окружающего пространства. В системе бинокулярного зрения присутствуют недостатки:

- контроль ограниченной области;
- слабая светочувствительность, что не позволяет работать при низком освещении;
- равные фокусные расстояния камер;
- параллельность оптических осей.

Важным шагом для работы с БСТЗ является калибровка системы, которая позволяет устранить дефекты камеры, модифицировать получаемые от датчиков изображения и определить их параметры.

Поэтому, следующим этапом исследования является изучение классического метода калибровки, предложенного Р. Цаем (*R. Tsai*) с целью усовершенствования предлагаемого калибровочного стенда. Метод Цая является эффективным и универсальным и имеет минимальную ошибку в плоскости изображения [3]. Формирование карты глубины решено реализовать на основе метода полуглобального сопоставления, основными преимуществами которого являются наименьшая чувствительность к изменениям окружающей среды, а также скорость работы.

Дальнейшая работа направлена на разработку алгоритма обработки изображений к случаю изображений с существенной дисперсией и программного обеспечения для построения карты глубины внешней среды.

#### Список литературы

1. Черноножкин, В. А Система локальной навигации для наземных мобильных роботов / В. А. Черноножкин, С. А. Половко // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики 2008. – № 57, с. 13-21.
2. Титов, В. С. Направления развития методов, алгоритмов и аппаратных средств повышения качества изображений оптико-электронных систем/ Титов В. С., Труфанов М. И. // Известия ВУЗов. Приборостроение. – 2013. № 6, с. 7-11.
3. Horn, B. K. P. Tsai`s Camera Calibration Method Revisited / B. K. P. Horn // New York: Cambridge, 2000. – 13 p
4. Tsai, R.Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses //IEEE Int. Journal on Robotics and Automation, 1987. – P. 323 – 344.