

применением аддитивных технологий, которые позволяют изготовить детали с высокой точностью. Также на корпусе есть крышка отсека батарейки, что позволяет легко заменить ее, не разбирая всю конструкцию и при необходимости это можно сделать даже не открепляя весь блок от объекта измерений.

Заключение. В результате проделанной работы были получены следующие результаты:

1. Разработана 3D-модель сборки модуля регистрации кинематических параметров.
2. Разработана и отлажена программа для контроллера, обеспечивающего опрос сенсоров и отправку значений полученных сигналов на сервер.
3. Разработана программа, обеспечивающая прием данных от контроллера модуля с последующим мониторингом полученной информации в виде временных графиков полученных значений.
4. Получен большой опыт в разных областях: проектирования, конструирования, схемотехнике и программировании.

Рассмотренный модуль был разработан при поддержке ООО «Автономные системы» и в перспективе будет усовершенствован и дополнен сенсорами и некоторыми другими компонентами для расширения диапазона решаемых им задач. В первом приближении планируется снабдить модель GSM-модулем для возможности передачи данных на большие расстояния.

Литература

1. Конышев В.Н. Военная стратегия США после холодной войны. - СПб: Наука, 2009. – 178 с.
2. Программирование Ардуино [Электронный ресурс]. URL: <http://arduino.ua/ru/prog/>.
3. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. – М.: Додэка-XXI, 2007. – 360с.

УДК 004.93; 778.43

ОБЪЁМНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ

А.Е. Никифоров, К.А. Марьясов***

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

* – АО «Конструкторское Бюро Специального Машиностроения»
(АО «КБСМ»)

** – ООО «Автономные системы»

Решена геометрическая задача определения удалённости рассматриваемой точки до системы компьютерного зрения, состоящей из двух камер. Описан метод обработки изображений и выделения (распознавания) меток на нём в пакете прикладных программ MATLAB. Составлена программа в MATLAB для определения удалённости метки от системы камер. Выполнен ознакомительный эксперимент, в ходе которого реализована система объёмного компьютерного зрения. По результатам эксперимента выполнена калибровка системы зрения.

Ключевые слова: обнаружение, бинокулярное зрение, компьютерное зрение.

Введение. Компьютерная цифровая обработка изображений находит всё более широкое применение во многих отраслях. Вопрос объёмности является при этом важным аспектом компьютерного зрения – объёмное зрение позволяет определять расстояния до рассматриваемых объектов, а значит получать их положение, относительно системы компьютерного зрения.

В качестве прикладных задач можно привести в пример промышленных роботов – объёмное компьютерное зрение позволяет им определить взаимное положение и ориентацию их манипулятора относительно заготовки или детали.

Также объёмное компьютерное зрение может быть полезно в различных транспортных средствах, как автономных, так и управляемых человеком. Полностью автономным средствам оно позволит ориен-

тироваться по местности, обнаруживать препятствия, выполнять посадку или парковку и т.д. К таким автономным ТС можно отнести беспилотные летательные аппарат (БПЛА), выполняющие разведывательные задачи, обнаружение пожаров, обработка сельскохозяйственных полей и многие другие практические задачи.

1. Геометрия объёмного компьютерного зрения

Для создания объёмного компьютерного зрения необходимо использование 2 камер (бинокулярного зрения). Полученные камерами снимки являются центральными проекциями обозримого пространства на матрицы камер (светочувствительные микросхемы).

Камеры располагаются на некотором расстоянии друг от друга так, чтобы их оптические оси были параллельны. На основании смещения точек на снимке от одной камеры относительно положения тех же точек на снимке от другой камеры, в тот же момент времени, можно определить удалённость объектов в обозримом камерами пространстве.

Сначала необходимо описать геометрические построения и по ним вывести формулу, по которой можно определить удалённость точки. В обозримом пространстве выделяется интересующая точка M , координаты которой относительно камер нужно узнать.

Геометрические построения представлены ниже:

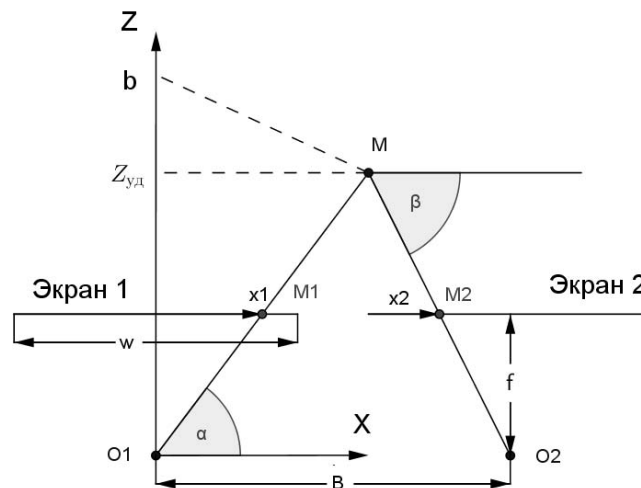


Рис. 1. Геометрические построения для решения задачи объёмного зрения

Обозначения на схеме: O_1 и O_2 – фокусы камер; M – положение метки в пространстве; M_1 и M_2 – изображения метки на экранах (матрицах) камер; x_1 и x_2 – местные координаты изображения на экране по его ширине, отсчитываемые от его левого края.

Стоит отметить, что на схеме матрицы камер расположены перед их фокусами, а не за ними как на самом деле. Но в реальном случае (когда матрица за фокусом) получается перевёрнутое изображение, которое камерой потом преобразуется в действительное. Поэтому ненастоящее положение матриц, как на схеме выше, является геометрически эквивалентным.

Геометрические размеры на схеме, необходимые для дальнейших выводов: B – расстояние между сходственными точками камер (иными словами, расстояние между фокусами камер), f – фокусное расстояние (от фокуса до матрицы) и w – ширина матрицы (пока пусть измеряется в пикселях).

Начало координат помещено в точку O_1 , ось Z расположена перпендикулярно матрице камеры, а ось X параллельна матрицам. Далее необходимо записать уравнения прямых, которым принадлежат отрезки MM_1 и MM_2 (то есть лучи исходящие из рассматриваемой точки на матрицы камер), с угловыми коэффициентами:

$$z_{MM_1} = k_1 x = \frac{f}{x_1 - w/2} \cdot x \quad (1)$$

$$z = k_2 \cdot x - B \cdot k_2 = \operatorname{tg} \beta \cdot (x - B) = \frac{f}{x_2 - w/2} \cdot (x - B) \quad (2)$$

Теперь необходимо найти точку пересечения этих двух прямых, то есть координаты рассматриваемой точки M . Приравняв уравнения 1 и 2, можно найти координаты точки M :

$$\begin{aligned} \frac{f}{x_2 - w/2} \cdot (x - B) &= \frac{f}{x_1 - w/2} \cdot x \\ x &= \frac{-B(x_1 - w/2)}{x_2 - x_1} \end{aligned} \quad (3)$$

Значение координаты z получено при подстановке значения x из (3) в уравнение первой прямой MM_1 (1):

$$Z_{y0} = \frac{f}{x_1 - \frac{w}{2}} \cdot \frac{-B \left(x_1 - \frac{w}{2} \right)}{x_2 - x_1} = - \frac{Bf}{x_2 - x_1} \quad (4)$$

Т.к. удалённость не может быть отрицательной, то взят модуль от полученного выражения 1.4:

$$Z_{y0} = \frac{Bf}{|x_2 - x_1|} = \frac{Bf}{|\Delta x|} \quad (5)$$

Полученная величина характеризует удалённость рассматриваемой метки, но её размерность не метры, а $[m^2/\text{пикс}]$ т.к. x_1 и x_2 определены как количество пикселей по горизонтали до рассматриваемой точки на полученных камерами изображениях.

Для получения реальной удалённости рассматриваемой точки составлена пропорция – равенство отношений величин в пикселях и метрах:

$$\frac{x[m]}{x_{\max}[m]} = \frac{x[\text{пикс}]}{x_{\max}[\text{пикс}]} \quad (6)$$

где: $x_{\max}[\text{пикс}]$ – ширина изображения в пикселях; $x_{\max}[m]$ – ширина матрицы в метрах; $x[\text{пикс}]$ – количество пикселей по горизонтали до рассматриваемой точки на изображении; $x[m]$ – реальная координата изображения точки на экране.

Выраженная искомая реальная координата на экране камеры из (6):

$$x[m] = \frac{x[\text{пикс}]}{x_{\max}[\text{пикс}]} \cdot x_{\max}[m] \quad (7)$$

Теперь можно найти реальную координату рассматриваемой точки до систем камер, подставив разность координат Δx изображений точки M , переведённую в метры, в формулу 5:

$$Z_{y0} = Bf / \left(\frac{|x_2[\text{пикс}] - x_1[\text{пикс}]|}{x_{\max}[\text{пикс}]} \cdot x_{\max}[m] \right) \quad (8)$$

Помимо удалённости метки по оси Z можно также определить и оставшиеся две координаты точки M в пространстве (по вертикали и горизонтали) для полного определения её местоположения относительно системы зрения.

Для начала необходимо свести два изображения в одно общее, введя виртуальный экран между двумя камерами:

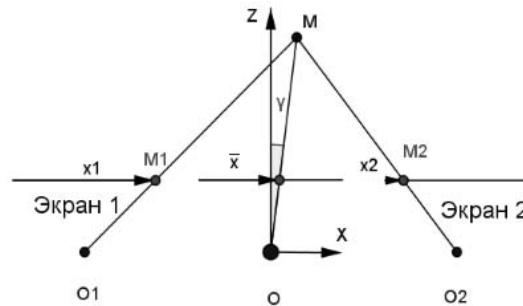


Рис. 2. Геометрические построения для нахождения координаты X точки M

Координата x изображения точки на виртуальном экране – среднее арифметическое координат на реальных экранах, обозначена как \bar{x} . Считая, что величина \bar{x} же переведена в метры, значение координаты точки M по горизонтали равно:

$$X = \operatorname{tg} \gamma \cdot Z_{y0} = \frac{\bar{x}}{f} \cdot Z_{y0} = \frac{(x_1 + x_2)/2}{f} \cdot Z_{y0}$$

Аналогично можно получить значение координаты точки M по вертикали (ось Y введена из точки O так чтобы она была направлена «на нас»):

$$Y = \operatorname{tg} \varphi \cdot Z_{y0} = \frac{\bar{y}}{f} \cdot Z_{y0} = \frac{(y_1 + y_2)/2}{f} \cdot Z_{y0}$$

2. Реализация объёмного компьютерного зрения в пакете прикладных программ MATLAB

Для проверки теории, описанной выше, был проведён эксперимент, который подтвердил её. Суть эксперимента заключается в следующем:

1. На миллиметровке была перпендикулярно ей расположена цветовая метка;
2. Произведены снимки метки на различных расстояниях (10, 15, 20, 25 и 30 см) камерой;
3. Произведены снимки метки на этих же расстояниях, но при смещении камеры на заданное расстояние вбок;
4. Написана программа на языке MATLAB (скрипт), определяющая удалённость этой метки от камеры по оси Z .

Программа состоит из 2 частей:

1. Основной программы (main.m), которая задаёт параметры системы зрения, считывает изображения из файлов и вычисляет искомую удалённость;
2. Подпрограммы определения координаты метки по ширине на изображении (get_x.m). Эта подпрограмма (файл-функция) вызывается из основной: ей передаётся изображение, а возвращает она координату метки. В её задачу входит выделение (распознавание) на изображении метки. Сама метка выбирается по критерию: наибольший участок заданного цвета.

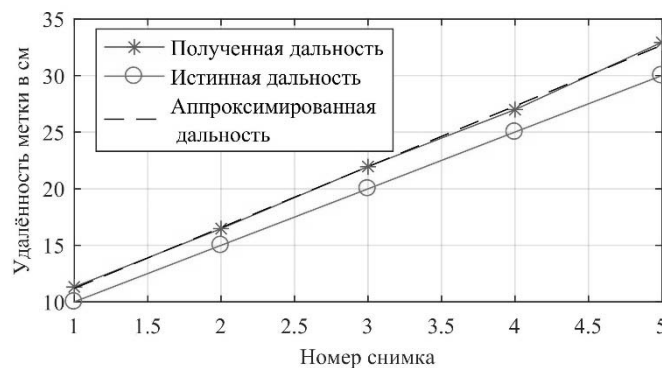


Рис. 3. Полученная и истинная удалённость метки

Как видно из рис. 3, полученная при помощи алгоритма дальность, в целом, соответствует установленной дальности (то есть «истинной»).

3. Калибровка системы объёмного компьютерного зрения

Рис. 3 показывает, что между истинной и полученной дальностью до метки наблюдается расхождение – некоторая ошибка.

Эта ошибка имеет, помимо случайной, 2 систематических составляющих:

1. Постоянную – вызванную тем, что расстояние откладывалось от края объектива, а алгоритм считывал удалённость от фокуса (фокус и край объектива удалены друг от друга). Эта точка отчёта была выбрана, т.к. точно узнать фактическое положение фокуса затруднительно;
2. Прогрессирующая – увеличивается с ростом удалённости. Вызвана, наиболее вероятно, неточностью расположения камеры (другими словами не параллельностью оптических осей).

Вычитанием из полученной дальности истинной получены значения этой ошибки:

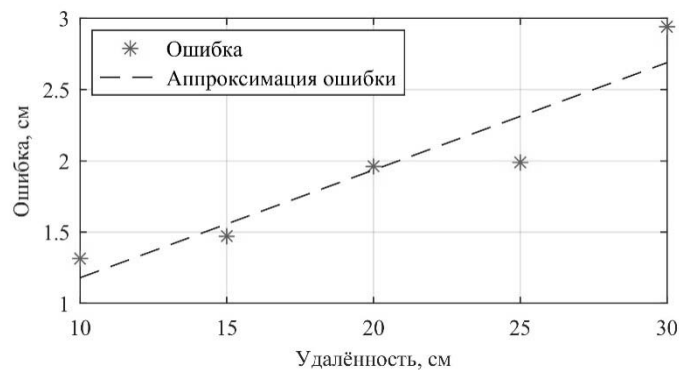


Рис. 4. График роста ошибки полученной удалённости от самой удалённости

Функция ошибки аппроксимирована полиномом первой степени методом наименьших квадратов. Установлено, что ошибка возрастает линейно с ростом удалённости метки от системы зрения. При вычитании ошибки из полученной дальности получают более точные измерения:

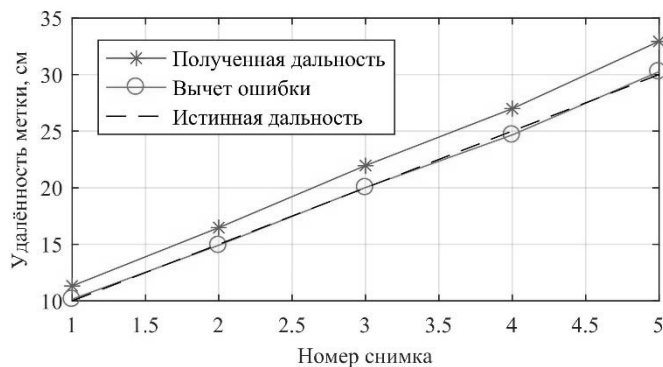


Рис. 5. Результат калибровки системы объёмного зрения

Заключение. Были представлены базовые основы геометрии объёмного зрения и успешная пробная экспериментально-программная часть. В дальнейшем, планируется усовершенствование алгоритма распознавания, повышение быстродействия программы и создание самостоятельной системы объёмного зрения на вращающемся приводе.

Литература

1. В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко, Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. –192 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. –616 с.
3. Чтобы распознавать картинки, не нужно распознавать картинки [Электронный ресурс]. – <https://habrahabr.ru/post/249661/> – дата обращения 08.02.17 г.