

10, октябрь 2015

УДК 621.865.8

Реализация стереоскопической системы технического зрения

*Гайнетдинов А.Ф., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Робототехнические системы и мехатроника»*

*Научный руководитель: Романова И. К., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Робототехнические системы и мехатроника»
sm7@sm.bmstu.ru*

1. Введение

Стереоскопическое зрение – это теория и технология, которая может производить обнаружение, слежение и классификацию объектов из двух или нескольких одновременных видов на сцену. Мобильные роботы могут использовать стереоскопическое зрение в качестве надёжного и эффективного способа получения информации дальности из окружающей среды. Точность результатов, как правило, достаточна для таких функций мобильных роботов, как навигация и построение карты. Кроме того, стереоскопическое зрение является пассивным датчиком, и на него не действуют помехи от других датчиков (например, структурированный свет от датчика расстояния). И наконец, система может быть легко интегрирована с другими функциями технического зрения, такими как распознавание объектов и слежение.

В этой статье описана стереоскопическая система реального времени с переменной разрешающей способностью. Данные от стереоскопической системы являются входными для функций построения карты и навигации. Существует несколько проблем в использовании системы для задач навигации. Во первых, так как робот передвигается, он должен обнаруживать объекты на близких расстояниях. Таким образом, мы должны решить проблему с большим различием изображений близко расположенных объектов, в то же время, имея хорошие показатели на больших расстояниях. Во вторых, необходимо обеспечить достаточную точность калибровки, чтобы система могла объединять различные изображения для получения облака точек. Две особенности делают возможным точное функционирование: технология «мультирезольюшн» для увеличения

диапазона работы системы и простой способ калибровки для удаления искажения от объектива и вычисления параметров стереоскопической системы.

2. Стереоскопическое зрение

Получение данных через стереоскопическую систему можно разделить на два этапа:

1. Вычисление карты смещений (рис. 1). Это нахождение для каждой точки первого изображения соответствующей точки на втором изображении и вычисления расстояния между этими точками (в пикселях).

2. Триангуляция. Это вычисление координат (X, Y, Z) всех точек изображения, используя карту смещения, фокусные расстояния и геометрические положения этих камер.

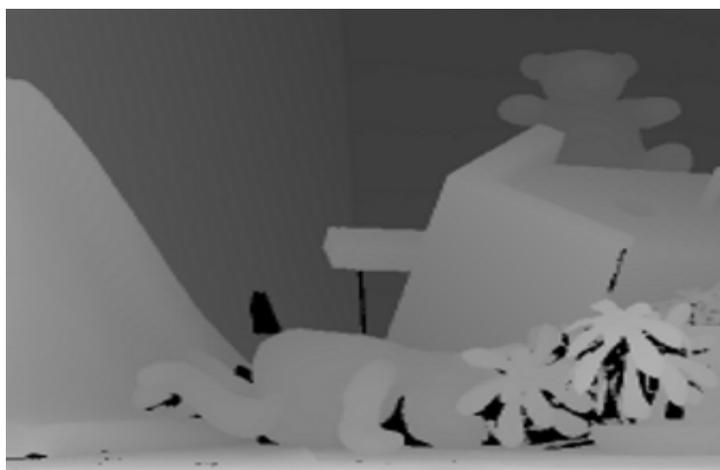


Рис. 1. Карта смещений

Эти задачи легче реализовать, если оптические оси камер параллельны и изображения компланарны. При такой установке эпполярные линии параллельны сторонам изображения и для точки с координатами (x_0, y_0) соответствующая ей эпполярная линия задаётся уравнением $x = x_0$, т.е. для каждой точки соответствующую ей парную точку нужно искать в той же строчке на изображении со второй камеры.

Поскольку максимальное значение смещений между точками устанавливается исходя из эффективности работы (в нашем случае 16 – 24 пикселя), близкие объекты (для которых смещения имеют большие значения) обычно не видны. Чтобы увеличить рабочий диапазон обнаружения объектов для роботов, без увеличения максимального смещения (следовательно, вычислительных ресурсов), используется технология «мультирезольюшн» для стереоскопических систем.

Следующая задача, которая должна быть рассмотрена при проектировании и реализации стереоскопической системы технического зрения – это калибровка. Это требуется по двум причинам: задача вычисления карты смещений и триангуляция имеют дело с идеальной моделью камеры (проективная модель камеры) и должны быть известны относительные положения и ориентации камер, чтобы получить облако точек.

Калибровка камеры – это задача определения отношения между идеальной проективной моделью камеры и фактическим фотоприёмником и получение отношения позиции и ориентации камер. Это фундаментальный шаг для получения облака точек. Он позволяет не только определить геометрию стереоскопической системы, но и избавиться от искажений, вносимые линзами (дисторсии).

3. «Мультирезольюшн» для стереоскопической системы

Метод «мультирезольюшн» для стереоскопической системы технического зрения используется для получения рабочего диапазона, способного обнаруживать близкие объекты. Метод «мультирезольюшн» часто используется для увеличения производительности алгоритмов для вычисления карты смещений. Этот метод работает с парой изображений сначала в малом разрешении для вычисления карты смещений, а потом улучшает локальные участки в высоком разрешении.

Также существует немного другой метод «мультирезольюшн», который применяет такой же алгоритм независимого получения карт смещений на различных разрешениях. Карта смещений от изображения высокого разрешения применяются для далёких объектов, а карта смещений от изображения низкого разрешения используется для близких объектов.

Преимущество этого метода состоит в том, он сохраняет скорость первоначального алгоритма. В приведённом выше примере, карта смещений с максимальным смещением в 24 пикселя может обнаружить объект на расстоянии от 90 см. Чтобы уменьшить это расстояние до 30 см. необходимо будет увеличить максимальное значение смещения до 96 пикселей, что приведёт к четырёхкратному увеличению времени выполнения алгоритма. С другой стороны, метод «мультирезольюшн» использует разрешения изображений $1/2$ и $1/4$ от оригинала и общее время выполнения составляет $1+1/2+1/4 = 7/4$ времени выполнения обычного алгоритма, что намного эффективнее.

4. Калибровка стереоскопической системы

Модель проективной камеры широко применяется для стереоскопической системы технического зрения. Чтобы связать идеальную модель камеры и фактический

фотоприёмник должны быть найдены параметры калибровки. Эти параметры можно классифицировать в две группы: внутренние: геометрические и оптические характеристики линзы и фотоприёмника и внешние: позиция и ориентация камеры в системе отсчёта связанная с миром.

Калибровка стереоскопической системы обычно производится с помощью калибровки каждой камеры отдельно, с последующим применением геометрических преобразованием внешних параметров, чтобы получить геометрию стереоскопической системы. Хорошо известный метод калибровки камеры, принимающий во внимание дисторсию линзы, был предложен Tsai. Метод основан на знании позиций нескольких точек в сцене и соответствующих проекций на изображении и требует от пользователя использования калибровочного шаблона.

Другой класс методов калибровки включает в себя те методы, которые не нуждаются в знании позиций точек в сцене. В этом случае можно разделить внутреннюю калибровку от внешней и этап оптимизации можно выполнить только по внутренним параметрам.

В этой статье рассмотрен простой метод калибровки для стереоскопической системы в стандартной установке. Внутренняя калибровка основана на минимизации радиальных дисторсий изображения содержащего только прямые линии (рис. 2), в то время как внешняя калибровка выполняется, используя карту смещений.

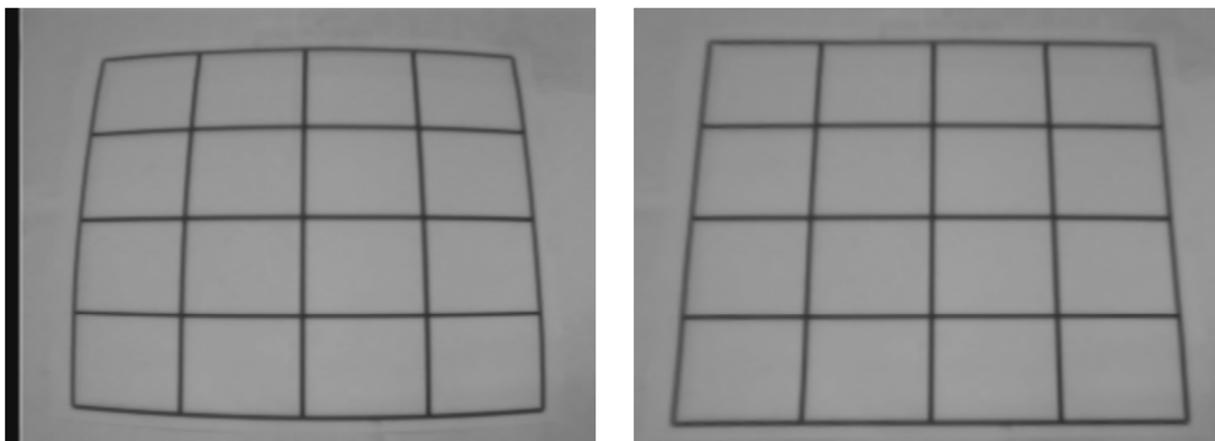


Рис. 2. Оригинальное и скорректированное по шаблону изображение

4.1. Внутренняя калибровка

Внутренняя калибровка получается минимизацией функции, измеряющей дисторсию изображения, содержащую только прямые линии. Установка калибровки очень проста: она лишь требует, чтобы камера была установлена перед рисунком, содержащим только прямые линии.

Внутренними параметрами камеры (проективной модели) являются: фокусное расстояние линзы f , размер пикселя P_x, P_y , первый коэффициент радиальной дисторсии k_1 , цент изображения O_x, O_y и масштаб α_x . Если мы знаем из технической документации камеры значения параметров f, P_x, P_y , то откалиброваны должны быть k_1, O_x, O_y и α_x .

4.1.1. Калибровка

Чтобы откалибровать внутренние параметры каждой камеры, мы определяем отношения между координатами изображения с дисторсией и без неё. Координаты изображения после калибровки:

$$\begin{aligned}x &= (i_d - O_x)\alpha_x P_x(1 + k_1 r_d^2) \\y &= (j_d - O_y)P_y(1 + k_1 r_d^2),\end{aligned}$$

где (i_d, j_d) координаты точки в изображении с дисторсией. Без дисторсии уравнение примет вид:

$$\begin{aligned}x &= (i - O_x)P_x \\y &= (j - O_y)P_y\end{aligned}\tag{1}$$

Поэтому соотношения между искажённым и неискажённым изображением примут вид:

$$\begin{aligned}i &= (i_d - O_x)\alpha_x(1 + k_1 r_d^2) + O_x \\j &= (j_d - O_y)(1 + k_1 r_d^2) + O_y\end{aligned}$$

Зная параметры k_1, O_x, O_y, α_x , можно избавиться от дисторсии в изображении, так как камера описывается идеальной проективной моделью (1).

Параметры k_1, O_x, O_y, α_x находятся минимизацией дисторсии изображений, сделанных при установке камеры перед рисунком, содержащим только прямые линии.

Измерение дисторсии можно получить с помощью преобразования Хафа. Преобразование Хафа надёжный и эффективный метод для нахождения линий соответствующих набору точек, а также предоставляет простой способ для вычисления кривизны набора точек соответствующих линии.

4.2. Внешняя калибровка

Внешние параметры необходимы для вычисления карты смещений (определение эпиполярных линий для нахождения соответствий между точками) и триангуляции (для получения облака точек). Мировая система координат привязывается к левой камере, таким образом, должны быть найдены внешние параметры правой камеры по отношению к левой, такие как вектор переноса T и матрица поворота R .

Подразумевается, что стереоскопическая система находится в стандартной установке (т.е. с параллельными оптическими осями и изображения компланарны). В идеальном случае матрица поворота R будет единичной матрицей. В реальной же системе присутствуют ошибки позиционирования, и матрица поворота не будет единичной.

4.2.1. Определение вектора переноса T

Обычно измерение расстояния между серединами камер достаточно для определения T_x (которая равно расстоянию между серединами линз). Что касается T_y и T_z мы считаем их равными 0. Точности определения облака точек очень чувствительна от T_x , T_y . Поэтому их уточняют вычислением ΔT_x и ΔT_y при соединении с матрицей поворота, как это описано далее.

4.2.2. Определение матрицы поворота R

Матрица поворота R определяется с помощью трёх углов вокруг осей правой камеры (φ , θ и ψ). В приближении малых углов поворот вокруг оси $X(\varphi)$ и вокруг оси $Y(\theta)$ может быть аппроксимирована как смещение на T_y (ΔT_y) и на T_x (ΔT_x) соответственно.

Угол φ может быть просто найден с помощью карты смещения. В самом деле, алгоритм соотнесения точек ищет соответствующие точки в той же строчке в обоих изображениях, когда изображения не выровнены ($\varphi \neq 0$), появляются значительные шумы на карте смещений. Существуют процедуры для поиска вертикального смещения ΔT_y двух изображений. φ может быть легко получена из ΔT_y .

Угол θ может быть получен с помощью фокальной точки (Z_0). Z_0 может быть найден из условия, что наложение смещения точки на бесконечности должно быть равным нулю. Это может быть просто найдено, оценивая объекты на далёком расстоянии и горизонтального перехода одного изображения в другое, пока смещение точки не станет равным нулю. Z_0 и θ затем вычисляются из горизонтального смещения (ΔT_x).

Наконец угол ψ может быть найден, оценивая однородность карты смещений. Действительно, поворот одного изображения по отношению к другому ведёт к значительному шуму на карте смещений.

Когда смещения ΔT_x и ΔT_y и угол поворота ψ найдены, чтобы корректно выровнять пары изображений, значения дальности вычисляются с помощью формулы:

$$Z = \frac{T_x f}{d'}$$

где d' - это смещение выровненного изображения.

5. Реализация

Рис. 3. показывает архитектуру реализованной системы. Изображения, получаемые от камер, преобразуются, чтобы удалить дисторсию от линз, затем делятся на три пары изображений с разными разрешениями и рассматриваются только горизонтальные участки изображения. Три пары изображений обрабатываются с помощью алгоритма получения карты смещений, которая возвращает три карты смещений. Они отбираются и интегрируются, чтобы получить одну 1D линию смещений. И наконец, триангуляция применяется для получения облака точек.

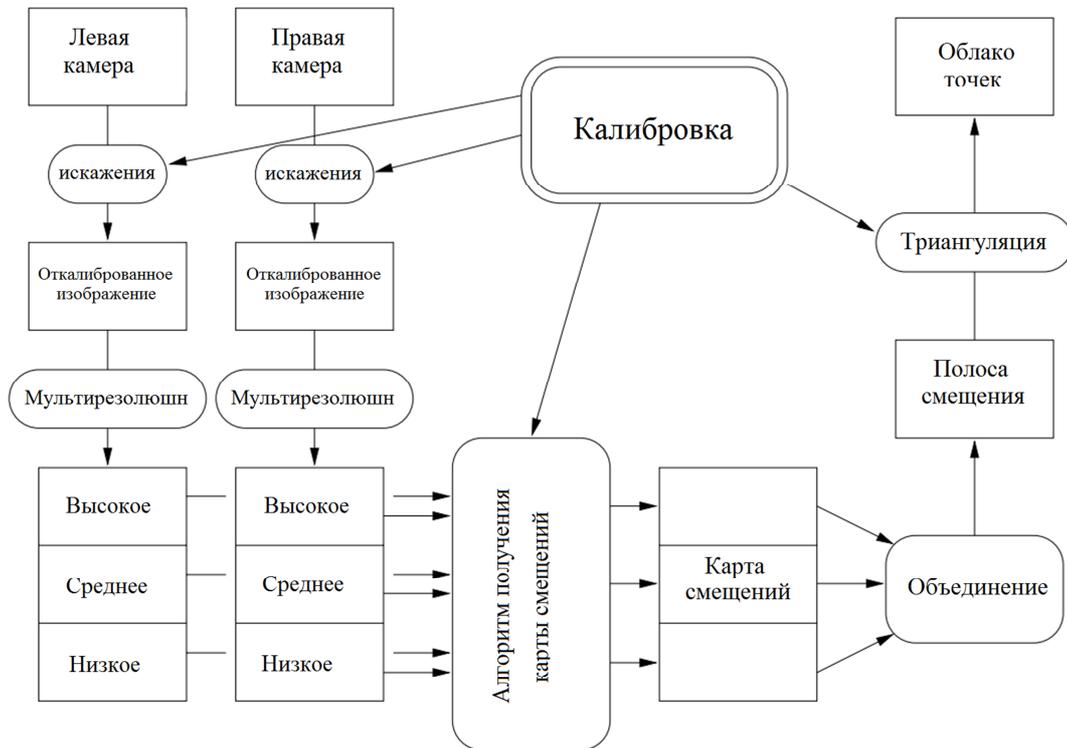


Рис. 3. Архитектура стереоскопической системы

Рис. 4 показывает вид, полученный в коридоре и результат простой процедуры обнаружения параллельных линий (основанный на преобразовании Хафа), который способен определить ширину и ориентацию коридора.

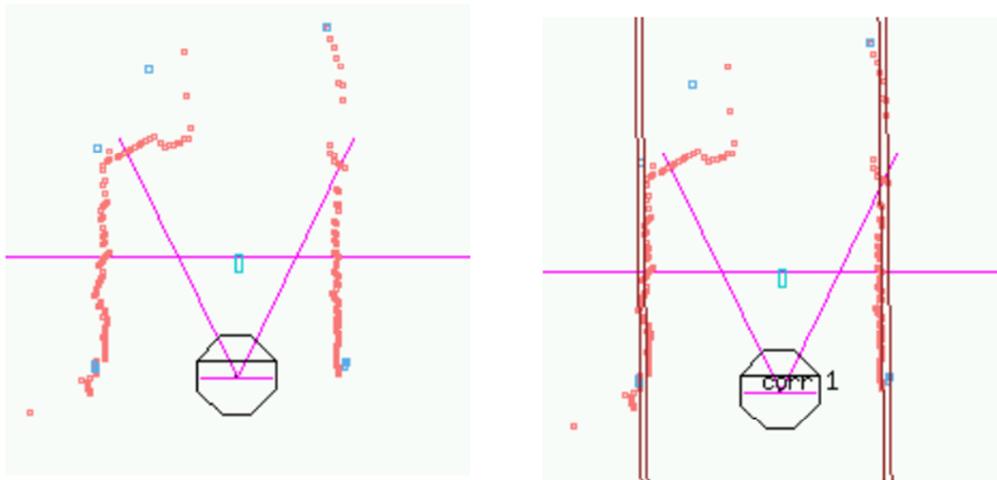


Рис. 4. Нахождение коридора

6. Выводы

Стереоскопическая система реального времени, разработанная данными методами, может получать облако точек высокого разрешения с большой частотой. Реализация стереоскопической системы технического зрения для мобильных роботов, используется для построения карты местности и задач навигации. В этой статье было показано, как реализовать стереоскопическую систему реального времени для задач мобильных роботов. В частности, было предложено решение для увеличения рабочего диапазона обнаружения объектов: использование специального метода «мультирезолюшн».

Список литературы

1. Хорн Б.К.П. Зрение роботов. М.: Мир, 1989. 487 с.
2. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV Library. Sebastopol: O'Reilly Media, 2008. 555 p.
3. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 646 p.
4. Stereo Calibration and Scene Reconstruction. Available at: <http://www.mathworks.com/help/vision/examples/stereo-calibration-and-scene-reconstruction.html>, accessed 25.05.15.
5. Camera Calibration Toolbox for Matlab. Available at: http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/htmls/parameters.html, accessed 25.05.15.
6. Rosenfeld A. Ed. Berlin. Multiresolution Image Processing and Analysis. Heidelberg: Springer-Verlag, 1984. 391 p.