

КАЛИБРОВКА СИСТЕМЫ ТРЕХ КАМЕР, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОВОДНИКОВ НА ПОДЛОЖКЕ МИКРОСХЕМЫ

В статье описан метод калибровки системы, которая включает в себя промышленные камеры и используется для визуальной проверки качества электронных изделий, в частности соединительных контактов, перед их компоновкой в микросхему.

В производстве электронных микросхем перед непосредственной сборкой готового изделия необходимо произвести проверку компонент изделия. Обычно микросхема содержит соединительные проводники. Высота соединительных проводов в производстве микросхем должна удовлетворять стандартам и не может выходить за предписанные рамки. Размер проверяемых проводов изменяется в пределах нескольких сот микрон. При превышении допустимой высоты провода в процессе заливки эпоксидным слоем провод будет выступать над поверхностью микросхемы. В случае, когда максимальная высота провода меньше предписанного значения, существует вероятность, что произойдет замыкание с другими элементами микросхемы. Эти оба случая указывают на бракованное изделие.

Для измерения высоты проводов используется система, состоящая из 3 независимых камер и 3 источников света. Разрешение сенсора камер составляет несколько микрометров на пиксель. Ось одной из камер расположена перпендикулярно к проверяемому объекту, оси второй и третьей камер образуют с поверхностью объекта заданный угол. Снимок первой камеры используется для визуальной проверки проводов: их формы, их целостность, соприкосновение с другими проводниками. Две другие камеры используются для оценки высоты проводов. Поскольку расположение проводов не фиксировано, то используются две камеры, что позволяет вычислить высоту объекта любой формы.

Для системы камер требуется выполнить 3 независимые калибровки для каждой из 3 камер. Калибровка первой камеры используется для определения разрешения системы в плоскости объекта по горизонтальным осям X и Y , поворота сенсора камеры относительно оси Z и коррекции дисторсии объектива камеры. Калибровка камер 2 и 3, расположенных под углом к объекту, подразумевает оценку дополнительных параметров: разрешение системы в пределах объекта по координате Z и поворот сенсора камер относительно осей X и Y . Также косвенно определяются остальные внутренние и внешние параметры системы камер, однако они не используются явно в процессе проверки объекта [1].

Для калибровки используется плоский тестовый объект, который представляет собой набор отражающих кругов на прозрачной подложке. Круги расположены в узлах прямоугольной сетки с известным шагом, диаметры кругов постоянны. Количество кругов задано. Для калибровки используется геометрическая модель, которая позволяет сравнить изображение на чувствительной плоскости камеры с идеальным изображением, проективного преобразования объекта из плоскости объекта на плоскость камеры. Идеальное изображение тестового объекта представляет собой набор светлых кругов на темном фоне, все круги расположены в узлах прямоугольной сетки тестового объекта. Прямоугольная сетка описывается при помощи шага сетки, угла поворота относительно начала координат и смещения. Задача калибровки сводится к определению параметров сетки на плоскости камеры, которая будет однозначно описывать центры кругов на калибровочном изображении [2, 3].

В реальной ситуации угол поворота идеальной прямоугольной сетки отличен от нуля, что связано с физическим поворотом сенсора камеры относительно оси Z . Известно, что камера и источник света расположены в одной плоскости. Исходя из этого

искомая оценка высоты проверяемого объекта (провода) определяется только в определенном направлении, параллельном источнику света. В описываемой системе считается, что данное направление совпадает с направлением идеальной прямоугольной решетки относительно оси X или Y в зависимости от расположения камеры/источника света. Для упрощения вычислений выполняется поворот изображения на угол поворота прямоугольной сетки. За точку вращения принимается первый узел сетки.

К повернутому изображению применяется билинейное преобразование, которое преобразует искаженную на плоскости камеры сетку в идеальную равномерную прямоугольную структуру. Поскольку шаг искаженной сетки изменяется за счет поворота сенсора камеры (объекта) и дисторсии объектива, то данное преобразование применяется к каждому отдельному четырехугольнику сетки. Это уменьшает погрешность калибровки.

Полагаем, что центр плоскости камеры совпадает с центром изображения. Для вычисления общего угла поворота камеры (объекта) относительно осей X и Y , а также разрешения системы относительно оси Z используется совокупность снимков калибровочного объекта с заданным смещением вдоль оси Z . При смещении объекта его положение относительно камеры изменяется; смещение калибровочного объекта относительно оси Z порождает смещение объектов на изображении по осям X и Y . Исключение составляет случай, когда камера расположена строго перпендикулярно к объекту, поэтому для камеры, в этом случае разрешение системы вдоль оси Z определить невозможно.

Для повышения точности метода используется совокупность снимков калибровочного объекта, который смещается на указанное расстояние вдоль осей X и Y . При смещении необходимо, чтобы калибровочный объект не поворачивался. Это требование выполняется с использованием X - Y двукоординатного стола, управляемого компьютером. Этот стол строго фиксирован и не дает поворота при смещении объекта.

Предложенный метод калибровки системы позволяет обеспечить точность $1/3$ пикселя, что достаточно для современных систем проверки электронных компонентов.

Список литературы

1. J. Salvi, X. Armangué, J. Batlle A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation, Pattern Recognition, Volume 35, Issue 7 — July 2002 — p. 1617 – 1635.
2. D. Ankur, K. Jun-Sik, K. Takeo Accurate Camera Calibration using Iterative Refinement of Control Points // Workshop on Visual Surveillance (VS), (held in conjunction with ICCV) – October, 2009.
3. M. Vo, Z. Wang, L. Luu, J. Ma Advanced Geometric Camera Calibration for Machine Vision // Optical Engineering, Vol. 50, No. 11, 110503 – 2011.

Губчик И. Н., аспирант кафедры ЭВМ БГУИР, Минск, Беларусь, e-mail: gubchikin@gmail.com