

# 基于改进 Radon 变换的芯片几何特征检测

孔华锋<sup>1,2</sup>, 鲁宏伟<sup>1</sup>, 胡东红<sup>3</sup>

(1. 华中科技大学计算机科学与技术学院, 武汉 430074; 2. 华中科技大学图像识别与人工智能研究所, 武汉 430074;  
3. 湖北大学物理学与电子技术学院, 武汉 430062)

**摘要:** 在分析芯片几何特征检测的基础上, 根据 Radon 变换的基本思想, 提出一种用于芯片几何特征检测的改进 Radon 变换算法, 对该算法在矩形芯片边界直线的检测过程中确定边界直线、剔除干扰和加快速度的具体应用进行了研究。试验结果表明, 与传统算法相比, 该算法可以有效提高识别效率 30%, 同时具有鲁棒性好及检测结果准确等特点。

**关键词:** Radon 变换; 直线检测; 图像处理; 模式识别

## Geometry Feature Detection of Chip Based on Improved Radon Transform

KONG Hua-feng<sup>1,2</sup>, LU Hong-wei<sup>1</sup>, HU Dong-hong<sup>3</sup>

(1. School of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074;  
2. Institute of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074;  
3. School of Physics and Electronic Technology, Hubei University, Wuhan 430062)

**【Abstract】** Basing on analysis of geometry feature of chip and fundament of Radon transform, this paper presents a method for detecting the geometry feature of chip based on improved Radon transform. The algorithm research focuses on detecting edge lines, eliminating the disturbing and improving performance in the boundary detection process of rectangular chip. The enhancement on the efficiency of the algorithm is about 30% proved. Experimental result shows that this algorithm is robust and the result is accurate.

**【Key words】** Radon transform; line detection; image processing; pattern recognition

### 1 概述

随着电子技术的发展, 印刷电路板进入大批量生产阶段, 电路板上集成的电子元器件的密度越来越大, 依靠人工目测对电路板上芯片是否正确贴装进行检测的方法已经不适用<sup>[1]</sup>。自动光学检测(Automatic Optical Inspection, AOI)系统通过光学成像技术获取被检测产品的数字图像, 由计算机根据模板图像所提供的信息对待测图像进行分析, 用以检测芯片贴装是否存在质量问题, 因此, AOI系统的使用可以大大提高电路板上芯片贴装的检测效率<sup>[2-3]</sup>。

在 AOI 系统检测过程中, 必须快速准确地检测电路板上芯片是否存在贴装上的缺陷, 以及如果存在缺陷, 要确定缺陷的类型。因此, 芯片的几何信息, 包括位置、大小和偏转角度都是重要的待检测量。由于芯片基本上都是规则的矩形, 因此通过检测芯片的 4 条边界, 或是它的 4 个顶点来计算芯片的大小和偏转角度是检测芯片几何特征的最为简便的方法, 而这些特征的获取需要进行芯片的边界判别和提取。

在分析芯片的数字图像时, 图像的对比度、边缘特征和信噪比等对芯片边界检测的正确性都会产生非常大的影响。原始灰阶芯片图像的边缘和噪声在空域上均表现为有较大的灰阶差。因此, 为了显示图像中较模糊、对比度差的细节, 必须提高图像的对比灵敏度, 即进行增强处理。同时, 芯片图像在获取过程中, 由于图像照度不均匀, 图像整体偏暗或者偏亮, 以及可能伴有斑点、细粒、网纹和雪花状等噪声, 这对图像的分析、分类和识别影响很大, 甚至可能使 AOI 系

统无法做出正确的判断, 因此在提高对比灵敏度的同时还需去除图像中可能存在的噪声。此外, 还要考虑如何解决由于图像的轻微弯曲和成像的畸变而带来的识别问题, 图像的探测图形往往会产生轻微弯曲, 一般的直线检测和边缘检测算法往往与实际的图像存在偏差。

Radon<sup>[4]</sup>变换具有较强的抗噪声和直线检测特性, 在图像的特征提取和模式识别中得到了较广泛的应用。本文提出一种改进 Radon 变换, 及其在 AOI 系统的矩形芯片检测识别中的应用方法。这些方法可以解决上述问题, 有助于快速精确定位芯片图像边界位置。

### 2 预处理

根据模板图像所提供的待分割芯片的坐标信息, 可截取元件所在的大致区域, 如图 1 所示。在提取图 1 中矩形芯片的 4 条边缘直线之前, 需要对该图像进行必要的预处理:

(1) 对局部图像进行平滑和中值滤波处理, 以消除图像中的噪声和其他干扰, 并将其转化为灰度图像。再对该图像采用基于窗口的自适应阈值区域生长方法, 得到如图 2 所示的区域生长后的图像。

(2) 从图 2 可以看出, 该图像存在大量中空区域, 当中空

**作者简介:** 孔华锋(1974 - ), 男, 讲师、博士后, 主研方向: 计算机网络, 多媒体技术, 信息安全; 鲁宏伟, 教授、博士; 胡东红, 副教授、博士后

**收稿日期:** 2007-07-08 **E-mail:** robin\_kong@126.com

区域与芯片外区域仅相隔一个像素时,就会影响下一步的边界跟踪处理,因此,须对该图像进行种子填充,得到的实心图像如图3所示。

(3)对该二值图像进行边界跟踪,得到如图4所示的芯片边界的轮廓图像,该图像是进行后续边界检测的基础。

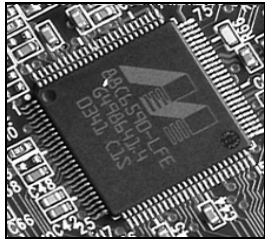


图1 包含待分割元件区域的图像

图2 区域生长后的图像

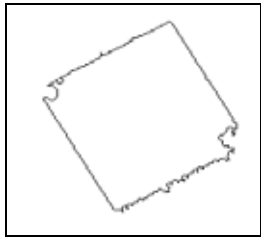
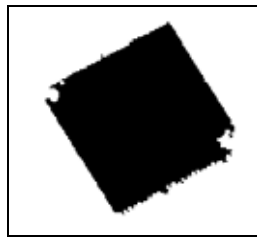


图3 种子填充后的图像

图4 边界跟踪后的轮廓图像

从图4可以看出,预处理所得到的芯片轮廓图像保留了芯片轮廓的基本特征。但是受到芯片引脚和图像质量的影响,图像的边缘及角点存在大量的弯曲和毛刺现象,对芯片边缘直线的检测形成干扰。

### 3 基于改进 Radon 变换的芯片边界线段检测

#### 3.1 Radon 变换的原理

Radon 变换是用来计算一个图像在不同方向的直线上的投影,一个  $N$  维函数  $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$  在维空间上的映射称为函数  $f$  在  $N-1$  维空间上的投影,如图5所示。

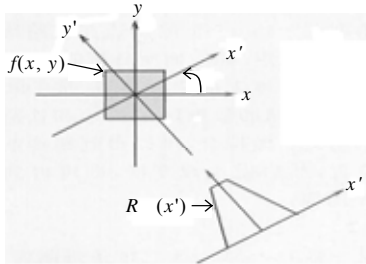


图5 Radon 变换示意图

图像  $f(x, y)$  沿角度  $\theta$  向  $x'$  轴投影得到  $R_\theta(x')$  是图像像素点在每一条直线上的积分,有

$$R_\theta(x') = \int_{-\infty}^{\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (1)$$

其中,  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ 。

图像空间域中的直线特征在 Radon 变换域中表现为一个点,图像空间域中高灰度直线在 Radon 变换域中形成亮点,而低灰度值直线在 Radon 变换域上形成暗点。基于这样的对应关系, Radon 变换常用来进行图像中直线的检测和识别。通过计算不同的  $R_\theta(x')$ , 找出 Radon 变换数值最大的值,它所对应的  $\theta$  值代表了图像中最长直线的方向。

#### 3.2 改进 Radon 变换算法

由于 Radon 变换是针对全图进行的,而一般在芯片边界

检测中,芯片的边界基本上是由固定长度的线段构成,因此为了减少不必要的检测处理,加快检测速度和准确性,需要对 Radon 变换的做必要改进,以检测图像  $f(x, y)$  中的点  $(x_0, y_0)$  是否位于一条线段上。

假定灰度图像  $f(x, y)$ , 其中,  $1 \leq x \leq M, 1 \leq y \leq N$ , 图像  $f(x, y)$  中的点  $(x_0, y_0)$  是线段  $l$  的中点,那么线段就可以用下式进行描述:

$$\begin{aligned} y \cos \theta - x \sin \theta &= y_0 \cos \theta - x_0 \sin \theta \\ (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 &= d^2 \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $\theta$  值代表线段所在直线方向,线段长度为  $2d$ 。

灰度图像  $f(x, y)$  沿线段  $l$  的积分可以表示为

$$R_l(x_0, y_0, \theta, d) = \frac{1}{2d} \int f(x, y) ds \quad (3)$$

当  $y_0$  保持不变,  $x_0$  取  $1, 2, \dots, M$ ,  $\theta$  按一定步长  $t$  取角度弧度  $0, \Delta t, 2\Delta t, \dots, \pi$  时,其实质是沿扫描线  $y = y_0$  检测是否存在长度至少为  $2d$  的线段。

由式(3)可以得到一个数组  $g(x_0, \theta)$ , 显然这个数组中的极小值对应着灰度图中的一条线段,而该极小值在数组中的脚标则表明了线段的位置和方向。因为黑边上灰度值最小的像素的轨迹正好位于黑边宽度的中心,无论图像整体偏亮还是偏暗,均不受影响,本文提出的改进 Radon 变换符合这个要求。此外通过整体的直线检测和局部的线段检测,还可以防止因为轻微的畸变而造成的检测误差。

#### 3.3 图像伪边界的消除

由预处理所得到图像上面的轮廓是不规则的,其中有一些元素所对应的直线与边界所表示的直线非常相似,因此要求芯片边缘黑边要保持连续,不允许出现间断。也就是说,如果积分线段上大部分像素为暗色,如果有少量的亮色,此时式(3)积分值仍然可能很小,从而有可能误判当前的积分线段是所要求探测的芯片边界。为了避免这种情况的发生,提高积分对白色浅色模块的敏感度,须对式(3)做进一步改进:

$$R_l(x_0, y_0, \theta, d) = \frac{1}{2d} \sqrt{\max(f_i)} \int f(x, y) ds \quad (4)$$

其中,  $\max(f_i)$  定义为灰度图像  $f(x, y)$  在积分线段  $l$  上的最大值。式(4)与式(3)相比,对积分线段上的浅色点非常敏感。也就是说,一旦积分线段上出现浅色点,式(4)的值就会变得很大,从而判断该积分线段不是一条所需要查找的边界,有助于排除检测图像内部的“伪边界”。

#### 3.4 边界的快速检测算法

由于构成芯片边界的4条线段存在一定的平行或垂直关系,因此可以考虑在确定了第1条边界线段后,仅须检测与第1条线段具有一定的平行或者垂直关系的线段,来加快芯片边界的快速检测。因此,若检测出的第1条线段是  $l_1$ , 对应于  $R_G$  中点的角度弧度  $\theta_{\max}$ , 则可以定义集合:

$$R_{G1} = \{(\rho, \theta) | (\rho, \theta) \in R_G \text{ 且 } \theta \in (\theta_{\max} - \Delta\theta, \theta_{\max} + \Delta\theta), \Delta\theta > 0\}$$

$$R_{G2} = \{(\rho_n, \theta_m) | (\rho_n, \theta_m) \in R_G \text{ 且 } \theta_m \in (\theta_{\max} + \pi/2 - \Delta\theta, \theta_{\max} + \pi/2 + \Delta\theta), \Delta\theta > 0\}$$

其中,对于集合  $R_{G1}$  或  $R_{G2}$  中的任意一点的角度弧度  $\theta'_m$ , 若  $\theta'_m < 0$  或  $\theta'_m > \pi$ , 则需要分别将其转化为  $\theta'_m + \pi$  和  $\theta'_m - \pi$ ,  $\Delta\theta$  一般取一个较小的经验值。显然,检测与  $l_1$  平行和垂直的边界直线只需分别在  $R_{G1}$  和  $R_{G2}$  中搜索,由于将直线的检测范围由集合  $R_G$  缩小到了它的子集  $R_{G1}$  和  $R_{G2}$  中,因此大大提高了检测效率。

(下转第240页)