

提高集成电路组件外观检测速度的算法研究

赵新宇, 卢 强, 黄士坦

(西安微电子技术研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要: 集成电路芯片外观检测中, 图像处理算法的精度和速度严重制约了检测质量及效率的提升。鉴于此, 文中提出了两种快速检测芯片外观参数的算法——直线拟合算法和主轴算法。上述两种算法根据待检测管脚参数的特点, 在选取 ROI 区域的基础上, 只针对所选区域的图像进行相关预处理, 从而进一步提高速度。直线拟合算法从待测管脚的边缘点着手进行处理, 而主轴算法则关注于管脚的一二阶矩, 并根据主轴公式得出所求参数。最后从速度和精度方面对此两种算法的特点进行了对比分析并给出了两种算法的实验结果。

关键词: 芯片检测; 直线拟合; 主轴; ROI; 亚像素

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)05-0071-04

Research of Arithmetic on Improving Rapidity in Inspecting Integrate Circuit Module Aspect

ZHAO Xin-yu, LU Qiang, HUANG Shi-tan

(Xi'an Microelectronics Technology Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: In inspecting the chip aspect of integrate circuit, the rate and precision of image procession badly restrict the advance in both inspective quality and efficiency. In view of that, give two methods in fast inspecting the chip parameters —— arithmetic of line fitting and principal axis. The two methods which are above-mentioned can only deal with the ROI(region of interest) on the basis of the parameter characteristics to be test, which can further improve the speed. Arithmetic of line fitting pays attention to the edge point, while principal axis focuses on the first-order moment and second-order moment, then gets the parameters according to the axis formula. In conclusion, the analysis on the two methods in quality and efficiency and the results of the two methods are expressed.

Key words: chip detection; line fitting; principal axis; ROI; sub-pixel

0 引 言

随着集成电路产业的发展, 其外观检测的要求越来越高, 传统的检测方法效率低, 误差大, 已不能适应目前的工艺要求。机器视觉代替人工检测已是大势所趋, 其中, 如何在不影响检测精度的前提下提高检测速度更是成为人们关注的焦点。

芯片外观检测主要包括管脚检测和印刷表面检测, 文中主要介绍管脚检测方面, 管脚检测对检测算法的速度和精度的要求更甚于印刷表面检测。目前常见的管脚质量问题包括管脚偏移、管脚歪斜、管脚长度超标、同向整体歪斜、反向整体歪斜等, 针对以上问题的解决方法主要有: 基于连通区域的 blob 分析, 模板匹

配, 基于特征点提取和规则检查的方法等^[1~3]。上述几种算法检测精度基本可以满足要求, 但是算法运算量大, 在检测速度方面很难提高。

鉴于以上问题以及芯片管脚的特定形状, 提出了对所选 ROI 区域内的图像首先进行图像分割, 定位管脚端点的方法, 具体通过直线拟合和主轴算法进行实现, 并对检测到的参数进行亚像素定位。对于大小为 $N \times M$ 的图像, ROI 区域大小为 $n \times m$ ($m \leq M, n \leq N$), 从理论上分析可知, 直线拟合算法的计算量集中在计算所选 n 个点的 x, y 坐标的乘和累加运算, 主轴算法的计算量集中在计算由 ROI 所确定区域内管脚的二阶矩, 该两种算法的时间复杂度为 $O(n)$, 而模板匹配算法, 计算一次相关函数需要的计算量为 $3 \times N \times M$ (4 次减法 + 1 次乘法), 其时间复杂度为 $O(N \times M)$ ^[4]。

最后, 在实验结果分析部分, 给出几种算法的实际运行时间。并从速度和精度方面对直线拟合和主轴算

收稿日期: 2009-09-11; 修回日期: 2009-12-16

基金项目: 航天课题支持项目(417010202)

作者简介: 赵新宇(1985-), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 研究方向为图像处理; 黄士坦, 研究员, 博士生导师, 研究方向为图像处理、嵌入式计算机及并行计算。

法进行对比,从而最终确定了管脚检测的算法。

1 图像预处理

1.1 图像的噪声平滑

众所周知,实际获得的图像在形成、传输、接收和处理的过程中,不可避免地存在着外部噪声,噪声恶化了图像质量,使图像模糊,特征淹没,给分析带来困难。因此,去除噪声,恢复原始图像是图像处理中的一个重要内容。平滑的目的有两个:改善图像质量和抽出图像特征^[5]。

常用的图像去噪方法有均值滤波、中值滤波等。均值滤波利用某一像素及其邻域像素灰度的平均值作为该像素的灰度值,该方法思路简单但图像边界模糊;中值滤波用像素点邻域灰度值的中值来代替该像素点的灰度值。由于像素点的灰度值不依赖于邻域内与典型灰度值差别很大的像素点,所以该方法在快速去除噪声的同时又能保留图像边缘细节^[6]。

基于上述分析,文中采用了中值滤波的图像噪声平滑方法。

1.2 图像分割

图像分割的目的是将图像中有意义的表面特征提取出来^[7],鉴于下面要进行芯片管脚顶点的定位,故只需选用固定阈值对图像进行二值化,对感兴趣的管脚区域进行处理即可。

2 检测算法

2.1 ROI 区域的选取

为了减少计算量,缩小搜索范围,提高检测速度,通过人为绘制选取 ROI(感兴趣区域)。针对文中要检测的芯片管脚,其包括上下两排,每排管脚为 N 个,故选取两个 ROI 区域,分别包含上下两排的所有管脚(尽量在包含所有管脚的前提下,使所选区域最小),记为 R1 和 R2。

2.2 直线拟合算法

以 ROI 区域 R1 为例:

1)以 R1 区域内从下往上选取的第一行穿越所有管脚条状区域的图像数据行为首行(如 R1 区域不包括芯片体,则首行为 R1 下边界,该情况更易于计算),对该行数据从左至右依次记录每个管脚(记录结果以二维数组形式储存,如 $aLead[m][n]$, m 为管脚数目标号, n 为管脚行),并且管脚记录信息包括每个管脚的宽度,左右边缘坐标,边缘中点坐标及其像素值。具体示意图如图 1 所示。

2)以搜索到的第一行管脚为例,在搜索区域内逐行搜索管脚,并记录(当管脚数目不满足给定管脚数

时,不予记录)。

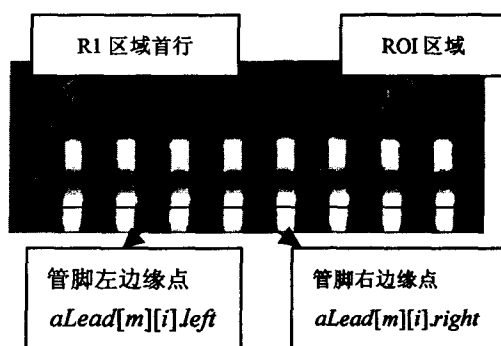


图 1 ROI 区域示意图

3)对记录的每个管脚数据进行处理,筛选出一些误差大的数据(管脚某行的宽度不在给定阈值范围内)。经过处理后的记录结果的每个管脚的边缘中点($aLead[m][i].center.x$ 和 $aLead[m][i].center.y$ 分别为管脚中点的 x, y 轴的坐标值)作为处理数据集,设待测管脚中线为 $y = ax + b$ (m 为管脚标号, n 为最终记录结果中管脚所取行数)。

$$av_x = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} aLead[m][i].center.x}{n}$$

$$av_y = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} aLead[m][i].center.y}{n}$$

$$L_xy =$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} (aLead[m][i].center.x - av_x) * (aLead[m][i].center.y - av_y)$$

$$L_xx =$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} (aLead[m][i].center.x - av_x) * (aLead[m][i].center.x - av_x)$$

$$a = L_xy / L_xx$$

$$b = av_y - L_xy * av_x / L_xx$$

4)依次对每个管脚进行如上处理,得出每个管脚的中线,记录该线与该管脚上边缘的交点 $topi$,该点即为所求管脚顶点。

对下排区域 R2 的处理同 R1,最终得到每个管脚顶点及所需参数信息。

2.3 主轴算法

同上述直线拟合算法,首先选取两个 ROI 区域 R1 和 R2,以 R1 为例:

1)按照从下往上的顺序选取穿越所有管脚的行为首行,类同直线拟合算法第一步,在此不赘述。

2)依次找到每个管脚在 ROI 区域内的边缘并记录。

3)对每个管脚分别进行处理,首先根据记录结果计算出其重心坐标:

$$\text{center } x[k] = \frac{m_{10}[k]}{m_{00}[k]}$$

$$\text{center } y[k] = \frac{m_{01}[k]}{m_{00}[k]}$$

$$m_{00}[k] = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=\text{a_lead}[k][i].\text{left.x}}^{\text{a_lead}[k][i].\text{right.x}} n\text{PixelValue}$$

$$m_{01}[k] = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=\text{a_lead}[k][i].\text{left.x}}^{\text{a_lead}[k][i].\text{right.x}} i * n\text{PixelValue}$$

为管脚在 y 方向上的一阶矩, $m_{10}[k] = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=\text{a_lead}[k][i].\text{left.x}}^{\text{a_lead}[k][i].\text{right.x}} j * n\text{PixelValue}$ 为管脚在 x 方向上的一阶矩,其中 k 为管脚标号, n 为管脚所取行数, $n\text{PixelValue}$ 为当前坐标点的像素值。分别计算每个管脚的二阶矩: $u_{11}[k]$, $u_{20}[k]$, $u_{02}[k]$ 。

$$u_{11}[k] = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=\text{a_lead}[k][i].\text{left.x}}^{\text{a_lead}[k][i].\text{right.x}} (j - \text{center } x[k]) * (i - \text{center } y[k]) * n\text{PixelValue}$$

$$u_{20}[k] = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=\text{a_lead}[k][i].\text{left.x}}^{\text{a_lead}[k][i].\text{right.x}} (j - \text{center } x[k]) * (j - \text{center } x[k]) * n\text{PixelValue}$$

$$u_{02}[k] = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=\text{a_lead}[k][i].\text{left.x}}^{\text{a_lead}[k][i].\text{right.x}} (i - \text{center } y[k]) * (i - \text{center } y[k]) * n\text{PixelValue}$$

$$\text{主轴的倾斜角度 } \theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2u_{11}}{u_{20} - u_{02}}\right)$$

4)根据主轴公式可知其角度范围为 $-\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}$,考虑到当管脚存在较大偏斜,从而超出此范围的情况,故对得到的 θ 进行分类处理。根据所得结果得出主轴线,最终得到每个管脚的顶点。下排管脚的处理同上排管脚。

2.4 亚像素算法

为了将检测结果的精度提高到亚像素级,文中使用基于 Zernike 矩的图像亚像素边缘检测原理对上述两种算法得到的顶点坐标进行亚像素定位。

Zernike 矩的边缘检测原理在文献[8]中有具体介绍,这里不再赘述,通过该算法得到的亚像素边缘检测的公式为: $\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + l \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix}$,其中,等号左边为亚像素检测后的像素坐标,右边第一项为未使用亚像素算法前的检测结果, l 为检测点距 ROI 区域坐标原点的距离, θ 为 l 和 x 的夹角。

文中使用亚像素算法对待测芯片经过直线拟合和主轴算法后的检测结果进行精确定位,其实验结果如表 2 和表 3 所示。

3 检测结果对比分析

3.1 检测结果对比

对采集到的芯片图进行处理后的结果如图 2 和图 3 所示,其管脚的顶点以半径为 2 的圆进行标注。

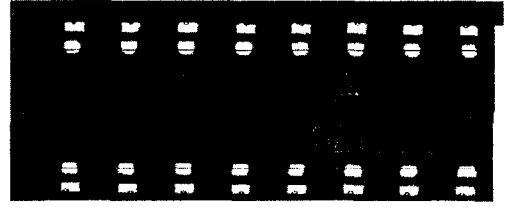


图2 直线拟合算法结果显示

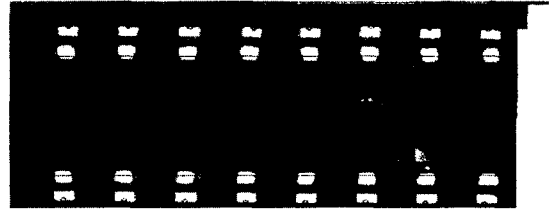


图3 主轴算法结果显示

3.2 采集参数结果

直线拟合、主轴算法以及模板匹配算法运行所用时间如表 1 所示。

表1 3种算法时间表

直线拟合	主轴算法	模板匹配算法(传统相似度)
0.915 ms	0.998 ms	6.026 ms

考虑到仅凭一两次检测结果无法检测算法的稳定性,故文中在实验中通过对待测芯片选取不同的 ROI 区域,得到十组检测参数(检测结果以像素点表示),其检测参数表如表 2~表 4 所示。其采样参数仿真图如图 4 所示。

表2 直线拟合算法参数表

间距1	间距2	间距3	间距4	间距5	间距6	间距7
43.2834	41.9857	42.7325	41.7561	42.6810	41.6190	40.9547
42.2466	42.0606	42.7592	40.0082	42.7325	41.5944	40.9048
43.0952	41.1667	42.0001	41.4999	42.7100	41.6009	40.9999
43.6771	40.5920	42.2340	40.3400	41.0259	41.5191	40.9113
41.5000	42.4999	42.0000	41.5000	42.5000	40.9999	41.0000
42.4600	41.5400	42.0000	41.5000	41.9999	41.4999	41.0000
43.7868	39.2131	42.2500	41.2499	42.5000	41.0000	41.6000
43.2834	39.9857	42.7325	40.0082	42.7592	41.6191	40.9044
44.2504	39.3130	42.5809	40.1443	42.7747	42.0038	39.9908
43.6771	39.5921	42.2340	40.3400	42.2400	42.0259	39.5173

从速度方面考虑,两种算法的检测用时完全满足工业实时检测的要求;从检测精度方面考虑,通过对采集到的参数与标准参数对比可知,主轴算法和直线拟合算法得到的管脚顶点经过亚像素定位后,前者的精度误差范围为 ± 0.27 个像素点,而后者的误差范围为 ± 2.9 个像素点。从而可知,主轴算法的精度和稳定

性均优于直线拟合法。

表 3 主轴算法参数表

间距 1	间距 2	间距 3	间距 4	间距 5	间距 6	间距 7
41.3900	42.6845	41.8134	42.5140	42.1565	42.3621	41.2889
41.3544	42.6386	41.8422	42.5054	42.1322	42.3176	41.3938
41.3263	42.6144	41.8201	42.5079	42.1799	42.1157	41.7432
41.4054	42.5480	41.8090	42.2921	42.1901	42.1070	41.7610
41.3544	42.6384	41.8623	42.2055	42.1321	42.1175	41.5939
41.5445	42.5167	41.5778	42.3863	42.1265	42.3228	41.3149
41.5164	42.5862	41.6227	42.2663	42.1228	42.1104	41.5119
41.2918	42.7063	41.5114	42.4547	42.1476	42.3684	41.2319
41.6545	42.5386	41.6422	42.2054	42.1322	42.1176	41.5938
41.5104	42.6167	41.3462	42.2517	42.1227	42.1663	41.5227

表 4 主轴之间的标准间距

间距 1	间距 2	间距 3	间距 4	间距 5	间距 6	间距 7
41.3000	42.6000	41.6000	42.3000	42.1000	42.1000	41.5000

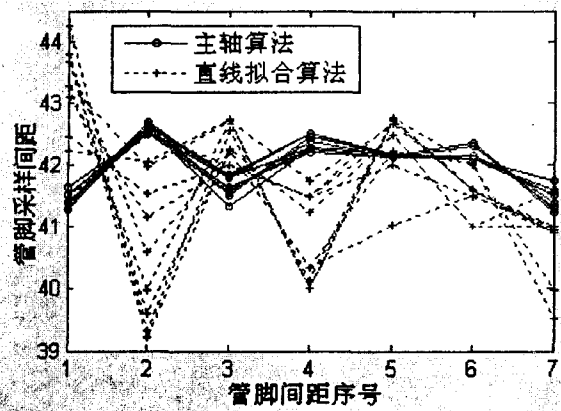


图 4 采样参数仿真图

4 结束语

文中针对集成电路芯片的外观检测的实际应用,设计了两种快速有效的管脚参数检测方法。并对两种方法的结果进行分析,可知在满足速度要求的前提下,主轴算法的稳定性较好,成像环境对其结果影响不大,可以满足工业检测的要求。

参考文献:

- [1] Moanti M. Segmentation of Printed Circuit Board Images into Basic Patterns[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1988, 70(1): 74-86.
- [2] Anderson G. Confocal laser microscopes see a wider field of application[J]. Laser Focus World, 1994, 30(2): 83-91.
- [3] Darwish A M, Jain A K. A rule based approach for visual pattern inspection[J]. IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1988(10): 56-68.
- [4] 陈世哲, 刘国栋, 胡 涛, 等. IC 芯片视觉检测中快速图像匹配定位[J]. 光电子·激光, 2005, 16(11): 1346-1349.
- [5] 杨淑莹. VC++ 图像处理程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2005.
- [6] 石争浩, 冯亚宁, 黄士坦, 等. 用于铸件表面缺陷机器视觉检测的快速图像处理技术[J]. 铸造技术, 2005, 26(4): 325-347.
- [7] 韩思奇, 王 蕾. 图像分割的阈值法综述[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(6): 91-102.
- [8] 高世一, 赵明扬, 张 雷, 等. 基于 Zernike 正交矩的图像亚像素边缘检测算法改进[J]. 自动化学报, 2008, 34(9): 1163-1168.

(上接第 70 页)

参考文献:

- [1] Li Maozhen, Baker M. 网络计算核心技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 105-151.
- [2] 许 骏, 史美林, 李玉顺, 等. 网络计算与 e-Learning Grid [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 1-4.
- [3] Tierney B, Aydt R, Gunter D, et al. A grid monitoring architecture[EB/OL]. 2002. <http://www.ogf.org/documents/GFD.7.pdf>.
- [4] Globus. GT4.0 WS MDS WebMDS[EB/OL]. 2006-07-12. <http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0/info/web-mds/>.
- [5] Byrom R, Coghlan B, Cooke A, et al. R-GMA: A Relational Grid Information and Monitoring System[C]//Proceedings 2nd Grid Workshop. Krakow, Poland: [s. n.], 2002: 143-151.
- [6] Wolski R. The network weather service: a distributed resource performance forecasting service for metacomputing[J]. Journal of Future Generation Systems, 1998(15): 757-768.
- [7] 查 礼, 徐志伟, 林国璋, 等. 基于 LDAP 的网络监控系统[J]. 计算机研究与发展, 2002, 23(2): 225-230.
- [8] Autopilot[EB/OL]. 2003-06. <http://vibes.cs.uiuc.edu/Software/Autopilot/autopilot.html>.
- [9] BAKERM, SMITHG. GridRM: grid resource monitoring[EB/OL]. 2007-10-15. <http://gridm.org/overview.html>.
- [10] Massie M L. The Ganglia Distributed Monitoring System: Design, Implementation, and Experience[EB/OL]. 2004-12-20. <http://ganglia.sourceforge.net/talks/parallel-computing/ganglia-twocol.pdf>.
- [11] Fu Wei, Huang Qian. GridEye: a service-oriented grid monitoring system with improved forecasting algorithm[C]//Proc of the 5th International Conference on Grid and Cooperative Computing. Hunan: IEEE Computer Society, 2006: 5-12.