# 基于 Halcon 的贴片电阻方向检测系统

**亢**宇欣<sup>1</sup>, 谌贵辉<sup>1</sup>, 张三炳<sup>2</sup>, 陈晓宇<sup>1</sup>, 孙彦斌<sup>1</sup>

(1.西南石油大学,成都 610500; 2.四川永星电子有限公司,成都 610500)

摘要:目的 设计贴片电阻方向检测系统,以解决当前贴片电阻排序编带过程中存在的检测效率低和检测精度低等问题。方法 采用改进的基于形状的模板匹配算法,以机器视觉软件 Halcon 为平台,利用 Canny 边缘检测算子和 Sobel 算子进行边缘检测和滤波,生成模板图像的边缘点位置向量和梯度向量,并以模板边缘点与图像搜索区域的对应点的内积和作为相似度量,进行模板匹配。结果 检测系统的识别时间为 33 ms,同时其平均识别准确率达 99.5%以上,相比于传统人工检测有较大提高。结论 该系统 具有良好的速度和准确度,可满足工业生产要求。

关键词: Halcon; 边缘检测; 模板匹配; 方向检测 中图分类号: TB487 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2017)23-0116-05

## Chip Resistance Direction Detection System Based on Halcon

 KANG Yu-xin<sup>1</sup>, CHEN Gui-hui<sup>1</sup>, ZHANG San-bing<sup>2</sup>, CHEN Xiao-yu<sup>1</sup>, SUN Yan-bin<sup>1</sup> (1.Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;
 2.Sichuan Yongxing Electronics Co., Ltd., Chengdu 610500, China)

**ABSTRACT:** The work aims to design the chip resistance direction detection system, in order to solve the problems such as low detection efficiency and low detection precision in the process of ordering the current chip resistance. With the machine vision software Halcon as the platform, the improved shape-based template matching algorithm was used to carry out the edge detection and filtering based on the Canny edge detection operator and Sobel operator, so as to generate the edge point position vector and gradient vector of the template image. The template matching was conducted with the inner product of the template edge point and the corresponding point in the image search area. The recognition time of the detection system was 33 ms, and its average recognition accuracy was more than 99.5%, which was better than that of the traditional manual detection. With good speed and accuracy, the system can meet the requirements of industrial production. **KEY WORDS:** Halcon; edge detection; template matching; direction detection

机器视觉技术的不断发展为工业生产自动化提 供了新的解决方案,在某些不适合人类工作的高危环 境或人类视觉不能满足要求的场合,通常会用机器视 觉来代替人类视觉。另外,在大批量工业生产过程中, 使用机器视觉代替人眼进行非接触式测量或识别可 以显著提升生产效率和生产质量。图像匹配技术作为 图像处理技术<sup>[1]</sup>的重要组成部分,广泛应用在医疗、 交通、安保、工业检测、遥感检测等诸多领域,并取 得了显著的效果。贴片电阻<sup>[2]</sup>由于其良好的性能被广 泛应用于集成电路中,具有较大的市场需求。贴片电 阻的包装过程一般包括缺陷检测、方向检测、包装编 带这3个阶段,很显然,缺陷检测主要检测产品表面 缺陷,是对贴片电阻外观和质量的检测。另外,由于 为了符合生产规范及便于使用,需要将贴片电阻按照 同一方向进行包装编带和方向检测。传统的方向检测 系统主要由工人持镊子在显微镜下观察检测,存在效 率和准确率较低的问题。针对传统贴片电阻包装过程 中的问题,这里将图像处理中的模板匹配算法应用到 贴片电阻方向检测过程中,考虑到检测速度、精度, 采用基于形状的匹配算法<sup>[3]</sup>,并利用 Halcon 编程来实

收稿日期: 2017-05-23

作者简介: 元宇欣 (1993—), 男, 西南石油大学硕士生, 主攻机器视觉。

基金项目:四川省科技计划(2016GZ0107);四川省教育厅重点项目(16ZA0065)

通讯作者: 谌贵辉 (1972—), 男, 西南石油大学教授, 主要研究方向为机器视觉算法及其应用。

现,以解决人工检测耗时、低效的问题。

## 1 检测系统方案设计

检测系统是对振动送料盘上传送过来的贴片电 阻进行图像采集和图像处理,根据检测结果筛选合适 的贴片电阻进行后续的包装编带工作。系统主要由图 像获取、图像分析处理、显示检测结果等部分组成, 检测系统见图 1。图像获取指由工业 CCD 相机<sup>[4]</sup>拍摄 贴片电阻图像并读入内存。图像分析指对读入内存的 图片进行算法处理,算法主要包括创建 ROI、图像裁 剪、边缘提取<sup>[5]</sup>、创建匹配模板、模板匹配等。最后 根据相似度量得到检测结果,即被检测电阻方向是否 符合选取模板的电阻方向。



Fig.1 Detection system

# 2 算法原理

## 2.1 边缘检测算法

边缘检测的一般思路是以图像灰度值为基础,考 察每个像素点在其某个邻域内的灰度阶跃变化,以灰 度阶跃变化程度为边缘检测标准。边缘检测的方法一 般分两类,即梯度方法和拉普拉斯方法,分别对应图 像灰度值的一阶微分和二阶微分。其中,梯度方法包 括 Sobel<sup>[6]</sup>, Prewitt, Kirsch, Canny 等算法<sup>[7]</sup>,拉普 拉斯方法包括 Marr, Lindeberg 等算法。

Canny 边缘检测算子对一阶微分进行了扩展,增加了非最大值抑制和双阈值限制。利用非最大值抑制 可以得到单个像元宽度的边缘,双阈值限制可以减少 边缘漏检率。由于 Canny 算子的优良特性<sup>[8]</sup>,采用 Canny 算子进行边缘检测,该算法一般分4步进行。

1)去噪。通常使用高斯函数进行平滑滤波,二维 高斯函数为:

$$G(r,c) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2 + c^2}{2\sigma^2}}$$
(1)

式中: r 和 c 分别为当前像素点距离选中像素点的水平和竖直方向上的距离; o 为标准差。为提高效率,使用 o=1 的整数值高斯卷积核 K<sub>c</sub>进行滤波:

$$K_{\rm c} = \frac{1}{273} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 7 & 26 & 41 & 26 & 7 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$
(2)

2) 计算梯度值和方向角。采用 Sobel 算子进行 中心差分, 2 个方向卷积核为:

$$S_{\rm r} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad S_{\rm c} = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$
(3)

梯度值为:  
$$|\Delta f| = \sqrt{s_r^2 + s_c^2}$$
 (4)  
方向角为:

$$\theta = \arctan\left(\frac{S_{\rm c}}{S_{\rm r}}\right) \tag{5}$$

将方向角以 45°为单位归并至 0°, 45°, 90°和 135°, 为第 3 步做准备。

3)非最大值抑制。将掩膜内梯度方向上具有最 大梯度值的像元保留,删除其他像元。掩膜大小设为 3×3 像素。

4)滞后阈值化。为防止由于噪声引起的边缘断裂问题,设置高、低2个阈值 T<sub>h</sub>,T<sub>1</sub>,通过2个阈值 的合理设置,可以避免边缘断裂。具体过程如下:梯度值大于 T<sub>h</sub>,认为该像元是边缘;梯度值小于 T<sub>1</sub>,认 为该像元为非边缘;梯度值介于 T<sub>1</sub>和 T<sub>h</sub>之间,进一步检查该像元 3×3 范围内是否存在边缘点,若存在,则认为该像元是边缘,否则为非边缘。

#### 2.2 改进的模板匹配算法

模板匹配是指在搜索图像中根据已知模板的某些特性进行匹配,最终得到模板图像与搜索图像的关系。常见的模板匹配方法包括基于灰度值的匹配<sup>[9]</sup>、基于形状的匹配和基于组件的匹配。每种方法都有各自的适用环境,其中,基于形状的模板匹配对光照变化不敏感,抗干扰能力强,可以有效检测出偏移、旋转、部分遮挡的目标,满足贴片电阻方向检测的要求。

传统相似度量<sup>[10]</sup>是使模板边缘点与离它最近的 图像边缘点之间的均方距离最小,该度量方法计算量 大,且对于遮挡等问题处理效果差。系统采用改进的 基于形状的匹配算法<sup>[11-12]</sup>,首先将目标模板定义为 点集  $p_i = (r_{pi}, c_{pi})$ 以及每个点的方向向量  $d_i = (t_i, u_i)$ ,  $i=1, 2...n, t_i 和 u_i 分别表示点集 p_i 中各个点在水平方$ 向与竖直方向的灰度值差分近似值,差分近似值由Sobel 算子滤波得到。搜索开始前,将搜索图像用Canny 和 Sobel 算法进行处理,为图像中每个点<math>(r, c)计算出一个方向向量  $e_{r,c} = (v_{r,c}, w_{r,c}) \circ v_{r,c} 和 w_{r,c} 分别表$ 示坐标为<math>(r, c)的像素点的水平与竖直方向的灰度值 差分近似值,设待搜索图像中与模板对应的点为  $q_i = (r_i, c_i),其方向向量 e_{qi} = (v_{ri,ci}, w_{ri,ci}),以模板各点$ 方向向量和搜索图像中相应点处方向向量的平均点积*S*作为相似度度量:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} d_{i}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{e}_{qi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} t_{i} \boldsymbol{v}_{ti,ci} + u_{i} \boldsymbol{w}_{ti,ci}$$
(6)

这种相似度度量能够完全不受遮挡和混乱的影响,但是因为方向向量的长度受光照影响,故该相似 度量仍受光照影响,使用如下计算可降低光照对相似 度量的影响:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{d_{i}^{T} \boldsymbol{e}_{qi}}{\|\boldsymbol{d}_{i}^{T}\| \|\boldsymbol{e}_{qi}\|}$$
(7)

通过式(7)中归一化相似度量的计算后,将返 回一个小于1的数值作为匹配对象的分值,越接近1 表示匹配程度越高。

## 2.3 金字塔分层搜索策略

使用传统搜索方法进行匹配需要计算整个图像的相似度量,比较耗时,其算法复杂度为 O(bhn), 其中 b 和 h 为图像的宽和高, n 为模板点的数量。系 统采用金字塔分层搜索策略<sup>[13]</sup>。首先为搜索图像创 建图像金字塔,图像金字塔每升高 1 层,行列分别 减小 2 倍,相应地,模板点数和图像点数都减少 4 倍,这意味着每加 1 层金字塔,可以提高 16 倍搜索 速度。在每层图像金字塔都应用和创建模板时相同 的滤波算法提取方向向量,然后由金字塔顶层进行 彻底搜索,在确定了潜在匹配位置后,跟踪该位置 至下一层,直到在金字塔底层找到目标。图像金字 塔分层见图 2。



图 2 图像金字塔分层 Fig.2 Image pyramid layering

## 3 检测系统实现

检测系统包括硬件和软件这 2 个部分,硬件部分 包括光源、镜头、相机、计算机等。这里主要介绍软 件系统,软件检测流程见图 3。



图 3 软件检测流程 Fig.3 Software detection process

#### 3.1 图像获取

图像采用漫反射、明视场正面照明采集,图像采 集可以通过以下算子组合实现:

open\_framegrabber() grab\_image\_start(AcqHandle,-1) grab\_image\_async(Image,AcqHandle,-1) 打开图像采集设备,开始异步采集图像。

#### 3.2 创建匹配模板

#### 3.2.1 获取边缘轮廓

读取图片后,针对贴片电阻创建 ROI,使用 draw\_rectangle2 和 gen\_rectangle2 这 2 个算子自定义 绘制并生成一个矩形区域,然后利用 reduce\_domain 算子从原图中分割 ROI 区域。利用 edges\_sub\_pix (ImageReduced, Edges, 'canny', 1, 30, 55)算子实现对 贴片电阻亚像素边缘提取<sup>[14]</sup>,见图 4。



图 4 Canny 算法提取边缘 Fig.4 Edge extraction by Canny algorithm

#### 3.2.2 创建匹配模板

以提取出的边缘为输入,利用 create\_shape\_ model\_xld 算子来创建匹配模板<sup>[15]</sup>。NumLevels 表示 图像的金字塔层数,其值越大,匹配时间越短,但必 须保证顶层有足够多的图像信息; AngleStart, AngleExtent 和 AngleStep 分别指模板匹配起始角度、 角度搜索范围和搜索角度步长,这几个参数对贴片电 阻方向检测精度影响很大。由于该系统是利用模板匹 配技术实现对贴片电阻方向的检测,所以 AngleStart 和 AngleExtent 需要根据实际情况进行设置。针对较 小的模板图像, AngleStep 应设置得较大。另外,在 创建模板之前,可以利用 inspect\_shape\_model 算子预 览模板。创建的模板见图 5。



050

b

图 5 模板 Fig.5 Template

#### 3.3 模板匹配

#### 3.3.1 匹配过程

利用 find\_shape\_model 算子进行模板匹配。匹配速 度和精度受起始角度、角度范围、最小匹配值、匹配个 数、是否使用亚像素精度、金字塔层数、贪婪度等参数 影响,若要得到良好的速度和精度,需要对这些参数进 行协调设置。进行模板匹配时,首先生成图形金字塔, 然后在每层图像上进行与创建模板时相同的边缘检测 和滤波,在顶层以各个角度步长进行模板搜索,直至相 似度量值大于阈值,然后自顶向下逐层搜索,最后得到 匹配模板的行列坐标、区域角度以及相似度量值。

### 3.3.2 优化匹配速度

提到的参数应根据实际情况,认为与所创建模板方向偏差在±5°以内的方向为合格方向,起始角度设为 -0.03 rad,角度范围设为0.06 rad,角度步长设为0.03 rad,匹配个数设为1,是否使用亚像素精度须需为none。 贪婪度、金字塔层数这2个参数通过实验进行选取。

实验设备包括三色环形光源 OPT-RI8060, 焦距为 25 mm 的定焦镜头, 大恒公司生产的 MER-132-30UM 相机(实验中使用 640×480 像素进行拍摄), 计算机 (CPU 主频为 3.4 GHz), 100 个实验电阻, 其中 22 个 为合格方向。以金字塔层数为 1 层、贪婪度为 0.1 时的 匹配响应为初始值,分别观察金字塔层数从 1 层到 7 层变化,贪婪度从 0.1 到 1 变化时,匹配速度和匹配个数的变化情况,通过多次实验,结果见图 6。



图 6 图像金字塔层数和贪婪度与匹配响应关系 Fig.6 Relation between layer number of image pyramid, greediness and matching response and matching response

分析图 6 可知,金字塔层数为 5 层、贪婪度为 0.8 时,可在保证较高识别率的条件下取得最快速度。 然后通过实际调试得到当金字塔层数为 5 层、贪婪度 为 0.9 时取得最佳效果,即平均可识别 20.6 个电阻、 单个电阻平均识别时间为 1.2 ms。

## 4 系统运行结果

按照上述方案设计贴片电阻方向检测系统后,进行运行试验。采用4组各500个贴片电阻进行试验, 使用图 5 的贴片电阻方向作为标准方向制作匹配模板,观察检测时间和准确率,其中检测时间为从采集 图像到完成模板匹配的总时间,试验结果见表1。

#### 表 1 贴片电阻方向检测系统实验结果 Tab.1 Experimental results of chip resistance direction detection system

组别	样品	合格	平均检测	误检	准确
	总数/个	个数	时间/ms	个数	率/%
1	500	127	33.129	1	99.21
2	500	116	29.095	0	99.99
3	500	112	28.942	1	99.11
4	500	43	28.904	0	99.99

由表1可以看出,检测系统的贴片电阻方向识别 速度达到30个/s,比传统人工检测的2~3个/s有很大 提升。同时,其平均识别准确率达到99.5%以上,相 比于传统人工检测有较大提高。

## 5 结语

基于 Halcon 的贴片电阻方向检测系统可以实现 对贴片电阻方向的高效、高准确度检测。该系统作为 贴片电阻自动排序、编带的核心系统,对实现贴片电 阻自动化生产具有重要意义,既降低了长期生产成 本、提高了生产效率,又可避免工人因长期疲劳用眼 而导致的健康问题。随着自动化技术的发展以及生产 规模的扩大,机器视觉技术将会在生产生活中得到更 加广泛的应用。

#### 参考文献:

- DWORKNI S B, NYE T J. Image Processing for Machine Vision Measurement of Hot Formed Parts[J]. Materials Processing Technology, 2006, 174(1): 1—6.
- [2] 赵磊. 基于图像处理的贴片电阻缺陷检测[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
   ZHAO Lei. Chip Resistance Defect Detection Based on Image Processing[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2013.
- [3] 吴晓军, 邹广华. 基于边缘几何特征的高性能模板

匹配算法[J]. 仪器仪表学报, 2013(7): 23-30.

WU Xiao-jun, ZOU Guang-hua. High Performance Template Patching Algorithm Based on Edge Geometric Features[J]. Journal of Instrumentation, 2013(7): 23—30.

- [4] 杨丽凤.面阵 CCD 高精度测量应用技术[D].太原: 太原理工大学, 2002.
   YANG Li-feng. Application of Surface Array CCD in High-Precision Measurement[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2002.
- [5] 乔闹生,张奋.一种印刷电路板缺陷图像边缘信息提 取方法[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(20): 11—15. QIAO Nao-sheng, ZHANG Fen. A Method for Extracting Edge Information of Printed Circuit Board Defect Images[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(20): 11—15.
- [6] 宋睿,张合新,吴玉彬,等.激光主动成像图像边缘 检测算法研究[J].激光与光电子学进展,2017(8):1—
   14.
   SONG Rui, ZHANG He-xin, WU Yu-bin, et al.

Progress in Image Edge Detection Algorithm of Laser Active Imaging[J]. Laser and Optoelectronics, 2017(8): 1—14.

- [7] CANNY J F. A Computational Approach to Edge Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986(6): 679–698.
- [8] 张玲艳. 基于 Canny 理论的自适应边缘检测方法研究[D]. 西安:西北大学,2009.
   ZHANG Ling-yan. Research on Adaptive Edge Detection Method Based on Canny Theory[D]. Xi'an: Northwestern University, 2009.
- [9] 吴平, 王彬, 薛洁, 等. 基于模板匹配的加速肺结节 检测算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2015(7): 184— 188.

WU Ping, WANG Bin, XUE Jie, et al. Research on

Accelerated Lung Nodule Detection Algorithm Based on Template Matching[J]. Computer Engineering and Applications, 2015(7): 184—188.

- [10] 张红源,陈自力.图像匹配经典算法及其改进方法研究[J]. 兵工自动化,2008(9):91-94.
  ZHANG Hong-yuan, CHEN Zi-li. Research on Classical Algorithms and Improvement Methods of Image Matching[J]. Ordnance Industry Automation, 2008(9):91-94.
- [11] 金灿. 基于 HALCON 的印刷图像质量检测技术研究
  [D]. 长沙: 中南大学, 2013.
  JIN Can. Research on Printed Image Quality Inspection Technology Based on HALCON[D]. Chagnsha: Central South University, 2013.
- [12] 王雷,姜久雷.基于改进的模板匹配的设计模式自动识别[J]. 计算机工程与设计, 2016(9): 2429—2434.
  WANG Lei, JIANG Jiu-lei. Automatic Recognition of Design Patterns Based on Improved Template Matching[J]. Computer Engineering and Design, 2016(9): 2429—2434.
- [13] MACLEAN J W, TSOTSOS J K. Fast Pattern Recognition Using Normalized Grey-scale Correlation in a Pyramid Image Representation[J]. Machine Vision and Applications, 2008(3): 55—59.
- [14] 段能全,曾志强,张川川,等.小尺寸传火孔直径图像 精确测量技术研究[J].包装工程,2014,35(19):88—92.
  DUAN Neng-quan, ZENG Zhi-qiang, ZHANG Chuan-chuan, et al. Research on Accurate Measurement of Small Bore Diameter Image[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(19): 88—92.
- [15] 王宏丽,赵不贿,孙智权,等.基于 HALCON 的医 疗袋缺陷检测[J]. 包装工程, 2015, 36(13): 125—129.
  WANG Hong-li, ZHAO Bu-hui, SUN Zhi-quan, et al. Medical Bag Defect Detection Based on HALCON[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(13): 125—129.