

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.03.12

电子连接器外观缺陷检测方法研究

郭羽鹏, 韩震宇, 邹龙飞

(四川大学 制造科学与工程学院, 四川 成都 610065)

摘要: 为了提高电子连接器产品的质量, 对其进行产品检测已成为产品生产过程中一个重要的环节。考虑到连接器的多样性、各类外观缺陷等因素, 本文提出了一种基于机器视觉原理的检测方法。通过对连接器进行几何参数测量及对缺陷连通区域提取, 实现了对连接器外观缺陷的检测, 具备一定的通用性。

关键词: 连接器; 机器视觉; 双阈值连通区提取; 边缘点检测

中图分类号: TB22; TM503.5; TP242.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5795(2015)03-0048-05

The Research on the Inspection Method of Electronic Connector Appearance Defects

GUO Yupeng, HAN Zhenyu, ZOU Longfei

(School of Manufacturing Sci. & Eng., Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: For the sake of improving the connectors' quality, connector inspection has become an important part in manufacturing process. Considering varieties of connectors and appearance defects, this article comes up with an inspection method based on machine vision. The inspection method could be able to inspect the connector defects by means of measuring some dimension parameters of the connector and extracting the blobs of the surface defects. And this method is of some generality.

Key words: connector; machine vision; double-threshold blob extraction; edge extraction

0 引言

近年来, 随着我国的电子信息产业迅速发展, 电子信息产业链日臻完善, 电子连接器作为电子信息设备的重要元器件, 也被带动着快速发展起来。随着电子信息设备产品向小型化方向发展, 电子连接器的尺寸也越来越小, 加工精度要求也越来越高, 设计的形状也变得更加复杂。

电子连接器作为一种高精密元器件, 质量要求非常高。接触电阻是电子连接器的一种质量评价指标^[1], 质量良好的连接器的接触电阻较低且稳定, 一般在几毫欧到数十毫欧之间。而电子连接器的一些外观缺陷如划痕、管脚倾斜、压伤等, 使得连接器的接触电阻不稳定, 易导致连接器两端的电子模块信号传递受阻, 严重影响电子产品的质量, 因此对连接器的外观质量检测是控制产品质量的重要环节。

连接器的生产批量较大, 生产速度快, 对检测速度要求较高。连接器的生产过程可以分为冲压、电镀、注塑、组装四个阶段, 而这四个工艺流程生产速度都很快, 生产速度可达到 1000 件/min。高速的生产过程由于一些随机的因素如飞屑、挤压等, 易造成连接器产生外观缺陷。基于机器视觉原理的检测技术能够满足连接器厂商的检测速度要求, 可以实现对产品的高速检测。

1 系统检测原理

本检测系统是基于机器视觉检测原理设计而成, 主要由照明系统、图像采集系统、物料传送控制系统、图像检测系统软件等组成^[2]。系统运行时, 伺服电动机拖动连接器料带前进, 每次电机拖动前进一步, 下一个连接器完整落入相机视野范围, 在电机短暂停顿期间, 系统对该连接器进行图像采集、图像处理分析, 并得出检测结果。当产品被检测出无缺陷时, 则连续运行下去; 否则, 系统报警提示, 剔除废品后继续运行。检测系统的结构图如图 1 所示。本系统的检测对象主要为矩形管脚类连接器, 图 2 为 9PIN 电子连接器。

收稿日期: 2015-03-23; 修回日期: 2015-04-08

作者简介: 郭羽鹏(1991-), 男, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机视觉、动态检测; 韩震宇(1963-), 甘肃兰州人, 教授, 主要研究方向为工业自动化控制、计算机视觉、动态检测。

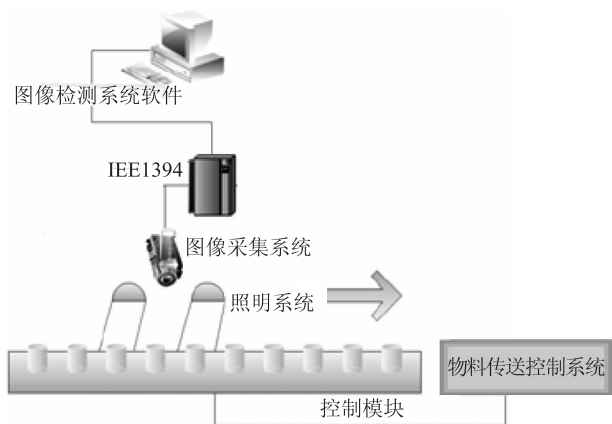


图1 检测系统结构图

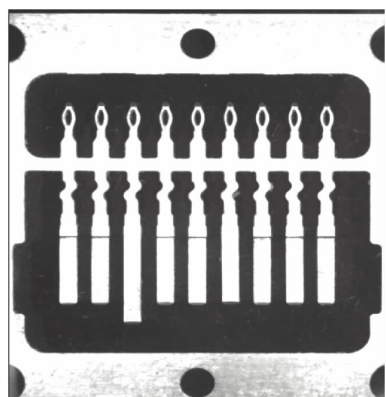


图2 9PIN 电子连接器

2 图像处理流程

基于机器视觉原理的检测系统的核心关键技术为图像检测系统软件，主要内容是对被检测对象进行图像处理，得到检测结果。本系统的图像处理软件设计思路是测量连接器相关几何参数及对缺陷连通区提取，从而达到连接器外观缺陷检测目的。检测系统的图像处理流程如图3所示，对采集到的连接器图像先后进行边缘点检测和双阈值 Blob 提取操作，从而得出准确的图像处理结果。

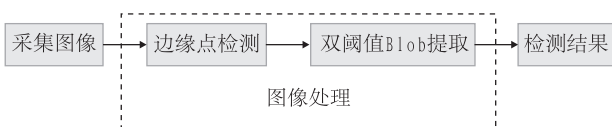


图3 图像处理流程图

2.1 边缘点检测

图像中的关键特征处需进行边缘点检测，并根据边缘位置计算连接器相应的几何参数。边缘点检测中利用梯度算子计算每一个像素的梯度值和梯度方向，对同时满足梯度大小要求和方向要求的灰度突变位置定义为边

缘点。图4为对某方向一维边缘点检测示意图。计算边缘位置的过程中采用梯度算子，通过对多个一维边缘点位置的提取间接获取二维图像中的边缘信息。

在以梯度算子检测边缘位置信息过程中，易出现位置偏差，影响检测精度，需进行校正。当以两个相邻像素的灰度值 f_k 差值来求梯度大小时，该计算方法得到的是位置 $n+0.5$ 处像素的梯度值，而非位置 n 处像素的梯度值。为准确计算位置 n 处像素的梯度值，对计算方法进行改进。从改进式中提取得到的梯度算子为 $[0.5, 0, 0.5]^T$ ，取整为 $[1, 0, 1]^T$ ，满足设定梯度值大小和梯度方向的像素则为边缘点^[3]。

$$f'_{n+0.5} = \frac{1}{2}(f_{n+1} - f_n) \quad (1)$$

改进为

$$f'_n = \frac{1}{2}(f_{n+1} - f_{n-1}) \quad (2)$$

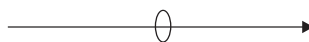


图4 某方向一维边缘点检测

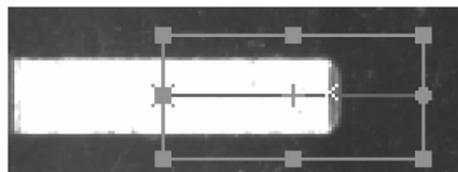


图5 管脚末端边缘位置检测

为了测量连接器管脚的几何参数，则需获取管脚的边缘线位置，此时需要多个边缘点拟合成直线，从而得到连接器管脚边缘。对边缘点的检测是在直线型搜索范围内利用梯度算子计算获取。为了获取管脚边缘上的多个边缘点，将搜索范围扩大为矩形。在矩形搜索范围内构造多条有向线段型搜索范围，其中有向线段与矩形的旋转角度一致，平行于矩形范围的宽度方向，并且按照一定的密度均匀分布在矩形范围内，从而得到管脚边缘上的多个边缘点。图6为旋转角度为 0° 的矩形范围内搜索边缘点示意图。

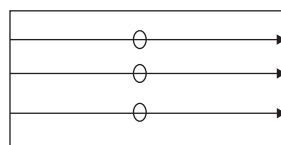


图6 旋转角度为 0° 时的矩形范围内搜索边缘点

提取得到多个管脚边缘点后，对这些离散边缘点进行直线拟合，得到管脚边缘位置信息。为了降低噪声干扰，获取稳定而准确的边缘位置信息，采用最小

二乘法将各离散边缘点集合 $\{(x_i, y_j) \mid i, j = 1, 2, \dots, n\}$ 拟合成直线 $x = ky + b$, 计算过程如下:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=0}^{n-1} (ky_i - x_i + b)^2 \quad (3)$$

再通过求其偏导数获取最大值:

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial k} = \varepsilon_k^2 = 2k \sum_{i=0}^{n-1} y_i^2 - 2 \sum_{i=0}^{n-1} x_i y_i + 2b \sum_{i=0}^{n-1} y_i = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial b} = \varepsilon_b^2 = 2k \sum_{i=0}^{n-1} y_i - 2 \sum_{i=0}^{n-1} x_i + 2bn = 0 \quad (5)$$

代入点集数据, 求得 k, b 参数值, 获取管脚边缘位置, 从而计算得到管脚相应的几何参数, 如图 7 所示。对检测到的管脚离散边缘点进行直线拟合, 并根据检测得到边缘位置和管脚长度确定管脚的缺陷搜索范围, 如图 8 所示。

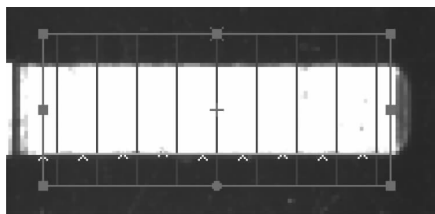


图 7 对离散边缘点直线拟合

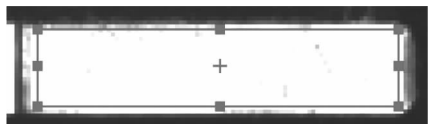


图 8 管脚缺陷搜索范围

2.2 双阈值 Blob 提取

电子连接器在高速生产过程中, 冷却液对冲压刀具进行冷却, 同时飞溅到正在生产的连接器料带上, 料带在传送出机床前进行了清洁处理, 但仍然会留有一些油渍, 这些油渍成像偏暗, 对后期图像缺陷提取形成干扰, 为此在管脚图像上提取缺陷时需滤除油渍的干扰。本系统的照明系统部分在封闭暗箱环境下采用同轴平行光光源, 增强了划痕等细小缺陷的对比度, 同时降低了油渍对像素灰度值的影响。为了将缺陷与油渍区分开来, 本文中提出了双阈值 Blob 提取方法来提取准确的缺陷。图 9 为含有划痕与油渍的管脚图像。

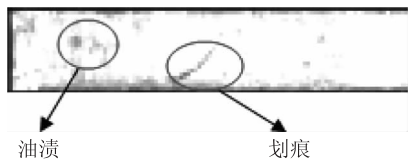


图 9 油渍与划痕的管脚图像

油渍与缺陷的形状均是不规则的, 为了将两者区别开来, 对两者的灰度值分布进行分析。图 10 和图 11 中, 设定相同大小的感兴趣区域分别包含缺陷和油渍, 对感兴趣区域上的像素灰度值进行统计分析。

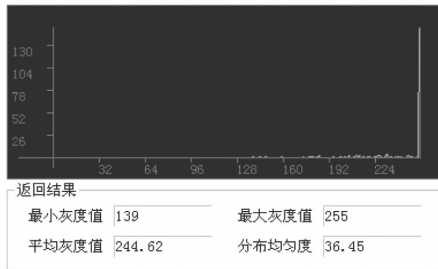
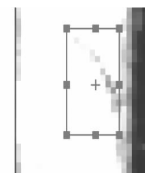


图 10 含有缺陷的区域及其灰度直方图

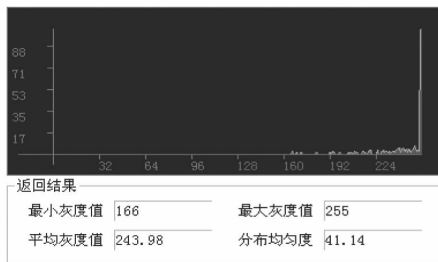
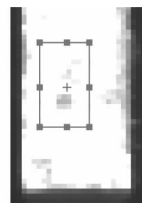


图 11 含有油渍的区域及其灰度直方图

根据两者的灰度直方图统计分析, 两者在灰度分布上规律相似, 但缺陷图像的最小灰度值低于油渍的最小灰度值, 并且缺陷图像在较低灰度值区间内的像素数目更多。

根据上述得到的结论, 可以对管脚图像上的缺陷和油渍图像进行模型抽象分析, 如图 12, 规定图像内像素灰度值 $f(x, y)$ 小于或等于低阈值 T_{low} 的像素集合为内核子集 $A_k (k = 1, 2, 3, \dots)$, 图像内像素灰度值 $f(x, y)$ 小于或等于高阈值 T_h 的像素集合为外壳子集 $B_k (k = 1, 2, 3, \dots)$, 其中 $0 < T_{low} < T_h < 255$, 且内核子集和外壳子集内的各像素满足 8 邻接位置关系。

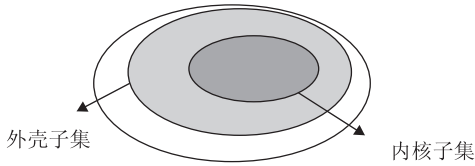


图 12 缺陷、油渍图像模型

内核子集 A_k 中的像素灰度值小于缺陷图像平均灰度值，外壳子集 B_k 接近为完整缺陷图像像素集合，能够较为完整地描述出缺陷的形状大小，并且包含相应的内核子集 A_k 。在缺陷提取过程中，使用高阈值 T_h 提取得到的像素集合为外壳子集 B_k ，这些外壳子集 B_k 包含了缺陷与油渍，无法区分开来，通过选用低阈值 T_{low} ，从外壳子集 B_k 中获取相应的内核子集 A_k ，根据上文中对缺陷与油渍图像像素灰度值统计分析，在选用同一适当低阈值 T_{low} 情况下，提取得到的缺陷内核子集最小灰度值要比油渍内核子集最小灰度值低，且缺陷的内核子集 A_k 的像素个数 $N(A_k)$ 更多，即面积更大，设定其面积阈值为 N_a ，面积大于或等于 N_a 的内核子集 A_k 所在的外壳子集 B_k 为缺陷，反之则为油渍，从而通过内核子集 A_k 将缺陷与油渍区别开来，再使用缺陷内核子集对应的外壳子集的集合将管脚图像上所有缺陷描述出来。算法总结如下：

计算外壳子集 B_k ：

$$\forall (x_i, y_j) \in R, f(x_i, y_j) \leq T_h, i, j = 1, 2, 3 \dots$$

$$\text{且 } \exists (x_\alpha, y_\beta) \in B_k, (x_i, y_j) \in N_8(x_\alpha, y_\beta), k = 1, 2, 3 \dots$$

$$B_k = B_k \cup \{(x_i, y_j)\}$$

计算内核子集 A_k ：

$$\forall (x'_i, y'_j) \in B_k, f(x'_i, y'_j) \leq T_{low},$$

$$\text{且 } \exists (x'_\alpha, y'_\beta) \in A_k, (x'_i, y'_j) \in N_8(x'_\alpha, y'_\beta),$$

$$A_k = A_k \cup \{(x'_i, y'_j)\}$$

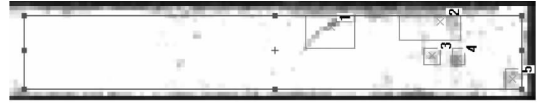
判断缺陷：

$$N(A_k) \geq N_a,$$

$$Q = Q \cup \{B_k\}$$

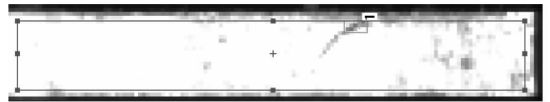
式中： R 为管脚缺陷搜索范围内的图像像素集合； $N_8(x_\alpha, y_\beta)$ 为与 (x_α, y_β) 处像素有 8 邻接位置关系的像素集合； Q 为 R 内所有缺陷的外壳子集集合。灰度阈值 T_h, T_{low} 的设定与光路设计、光场强度有关，且 T_{low} 的设定需考虑缺陷内核子集像素个数阈值 N_a 的大小。根据检测要求选择合适的 N_a 值， T_{low} 设定偏小，内核子集像素较少的缺陷会被视为油渍而造成漏检；若 T_{low} 偏大，油渍易被误检为缺陷。图 13 为使用灰度

阈值 226 进行 Blob 提取的管脚图像及 Blob 参数，图 14 为使用灰度阈值 190、像素个数阈值 10 的 Blob 提取管脚图像及各 Blob 参数，图 15 为双阈值 Blob 提取得到的结果，管脚图像中编号为 1 的 Blob 是缺陷，图中的各方框为 Blob 的最小外接矩形。



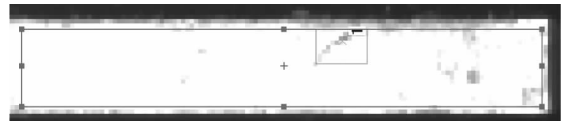
编号	面积	孔数	亮度	重心x	重心y
1	24	0	189.63	162.42	474.46
2	32	0	208.66	163.59	501.09
3	10	0	211.10	155.40	499.20
4	13	0	193.92	154.54	505.31
5	19	0	207.21	149.58	518.95

图 13 高阈值 Blob 提取的管脚图像及 Blob 参数



编号	面积	孔数	亮度	重心x	重心y
1	11	0	168.27	163.91	476.45

图 14 低阈值 Blob 提取的管脚图像及 Blob 参数



编号	面积	孔数	亮度	重心x	重心y
1	24	0	189.63	162.42	474.46

图 15 双阈值 Blob 提取得到缺陷及其参数

3 现场检测运行

根据上文中提出的图像处理算法思路，设计检测系统的图像处理软件，并对系统检测功能进行验证测试，确认系统的检测精度、速度和可靠性是否达标。

在此次检测运行中，以 9PIN 规格的电子连接器为检测样品，检测精度要求为 ± 0.05 mm。选用了 AVT 的 Guppy Pro 系列中的 CCD 相机 F-032B/C，其分辨力为 656×492 ，设置视野范围为 $W \times H$ 约为 $14 \text{ mm} \times 11 \text{ mm}$ ，帧率为 82 ft/s (约为 25 m/s)，即每幅图像采集传输时间约为 12 ms，根据图像采样定理^[4]，检测误差为 0.04 mm，可以满足对连接器外观缺陷的基本检测要求。

电子连接器在静止状态下，系统对其进行 100 次连续采图检测，电子连接器设计值 (不包括最长的 PIN) 及 100 次重复测量结果见表 1。

表 1 9PIN 电子连接器设计值及 100 次重复测量结果统计

项 目	长度/mm	宽度/mm	间距/mm
设计值	8.200	0.840	0.430
最大值	8.248	0.876	0.475
最小值	8.165	0.796	0.394
平均值	8.208	0.835	0.435
标准误差	0.032	0.028	0.031

由表 1 数据统计得到，系统的测量数据在 ±0.05 mm 内波动，可以满足对检测精度的要求。

检测系统同步制造机床生产速度进行在线检测，连续检测 1000 个 9PIN 连接器，并与准确的人工检测结果对比分析，结果见表 2。

表 2 在线检测结果统计

检测总量	人工检测		系统检测	
	良品	劣品	良品	劣品
1000	937	63	877	123

其中检测系统得到的良品中无不合格产品，而劣品中有 60 个良品被误检为不合格产品，主要是由管脚表面杂质及部分灰度值较低的油渍引起的。综合计算得到误判率为 6%，具有较高的可靠性，能够满足厂家的检测要求。

4 总结

根据系统检测运行结果，本文中介绍的图像处理方法能够满足连接器厂商对检测的要求，并且具有一定的通用性，但后续需要优化改进。本文中使用的检测对象为 9PIN 规格的连接器的，在满足检测精度条件的情况下，检测速度同步生产速度，能够在 1s 内连续检测完 5 个连接器，达到对检测速度的要求，并且通过使用双阈值 Blob 提取算法，将油渍与缺陷区分开来，增强了系统检测的可靠性。但由于 9PIN 连接器规格较小，而针对尺寸范围更大的连接器，为满足检测精度，则需要采用分辨力更高的工业相机，致使图像处理的数据量增加，对检测速度产生影响，为此本文中介绍的连接器检测方法还需要一定的改进来达到检测要求。

参 考 文 献

- [1] 李东方. 实用接插件手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 4-8.
- [2] 邹龙飞, 韩震宇, 马鹏, 等. 电子接插件在线质量检测研究[J]. 计测技术, 2015, 35 (2): 52-57.
- [3] Steger C, Ulrich M, Wiediman C. 机器视觉算法与应用[M]. 双语版. 杨少荣, 译. 北京: 清华大学出版社, 2008: 209.
- [4] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. 数字图像处理[M]. 3 版. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 北京: 电子工业出版社, 2013: 30.

欢迎订阅《化学分析计量》

邮发代号 24-138

《化学分析计量》为国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物，双月刊，大 16 开本，单月 20 日出版。国际刊号：ISSN 1008-6145，国内刊号：CN37-1315/O6。《化学分析计量》是中国科技核心期刊、美国《化学文摘》(CA) 千种表收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊，中国石油和化工行业优秀期刊、中国兵器工业优秀期刊、华东地区优秀期刊。2015 年单价 15 元，全年 90 元。您可通过邮局或银行汇款向《化学分析计量》杂志社办理订阅手续，欲订阅过刊或合订本、合订本光盘的读者直接向杂志社订阅。

地址：山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编：250031
电话：(0531)85878132, 85878148, 85878224 E-mail: anameter@126.com 网址：www.cam1992.com

《化学分析计量》2015 年第 3 期目次

标准物质

- 氯吡苯脲标准物质的研制
- 没食子酸丙酯纯度标准物质的研究
- 基于色谱-光谱联用和斜投影法分析丹皮酚含量
- 气相色谱-火焰光度法测定进口天然气中 4 种形态硫
- 固体进样石墨炉原子吸收光谱法测定船用燃料油中硅、铝含量
- 硫代硫酸钠滴定法连续测定铜磁铁矿中铜和铁
- 气相色谱-质谱法测定食品中葡萄糖酸-δ-内酯
- 二氧化硫测定过程中烟气预处理器适用范围研究
- 基于皮尔逊相关系数的有机质谱相似性检索方法
- HPLC 柱效对检测水中磺胺二甲基嘧啶色谱条件的影响
- 中红外光谱技术应用于饶河蜂蜜产地溯源的表征
- 毛细管柱气相色谱法测定作业场所空气中 1-丁烯和 1,3-丁二烯
- ICP-AES 法测定超高强度钢中的 Al, Mn, Si, Ti
- 直读光谱仪单 SAFT 光源测定锌锭中的杂质元素
- 喹啉黄中各组分的定性及定量研究
- Fe(III) 分光光度法测定盐酸氯丙嗪

- 紫外消解流动注射光度法测定海水养殖废水中总氮、总磷
- 顶空气相色谱法测定工作场所空气中的乙酸乙酯
- 流动注射分析法测定废水中的氰化物
- 氢化物发生-原子吸收光谱法测定铅粉中痕量砷、锑
- 快速溶剂萃取-气相色谱质谱法测定土壤中戊唑醇残留量
- 乌氏黏度计铜氨溶液法测定棉纤维的聚合度
- 热解析进样气相色谱法测定车间空气中的丙烯酸正丁酯
- 计量技术
- 超导脉冲傅里叶变换核磁共振谱仪校准规范解读
- 薄层色谱扫描仪检定方法探讨
- 实验室管理
- Excel VBA 在化学分析质量控制中的应用
- 仪器设备
- 油液颗粒污染检测仪的研制
- 综述
- 适体及其在分析检测中的应用
- 生物介质萃取技术研究进展