

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.08.014

注塑产品在线检测的图像处理系统设计与研究

于 骁,许哲雄*

(同济大学 电气工程系, 上海 201804)

摘要: 针对注塑产品检测中需要精密的机械装置实现定位的问题,对运用图像处理系统来完成其缺陷检测时所需的定位、配准及判断等方面进行了研究,对进行缺陷检测的图像处理系统流程进行了归纳,提出了一种通过对比图像的直线参数,并结合形心位置获得用于矫正待检图像位置的旋转量,再通过 Hough 变换测得的直线端点参数获得矫正待检图像的平移量,并结合基于 FFT 的相关运算来辅助确认平移量,最终根据经腐蚀运算的差影图像中各连通区域的面积判断产品是否存在缺陷的图像处理软件系统。利用 Matlab 对该系统进行了实现,并使用多种待检图像与模板图像进行对比测试。研究表明,该系统兼顾实时性和精确性,所设计的图像处理软件系统能够在廉价的低精度机械定位装置上实现注塑产品的在线检测。

关键词: Matlab; 图像处理系统; 缺陷检测

中图分类号: TH6; TP273 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)08-1027-05

Design and research of injection products online detection image processing system

YU Xiao, XU Zhe-xiong

(Department of Electrical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to simplify the precision instrument used in injection products detection, the image processing system used in defect detection was investigated. Based on the analysis of defect detection procedure, the concept of this image processing system was established. By comparing the difference between linear parameters in standard image and collected image of injection products, the amount of rotation could be got with the help of the image centroid. The amount of offset was measured by the parameter of line end point in Hough transform or correlation calculation based on FFT. Finally, whether the product was defective was judged by the regional connectivity. Based on the simulation of Matlab and comparison between different images, the results demonstrate that, this program took into account the timeliness and accuracy of the system to meet the requirements of online detection of injection molding, and thus it can substitute the expensive mechanical structure of positioning devices.

Key words: Matlab; image processing system; defect detection

0 引 言

随着电子产品越来越多地深入人们生活,电子接插件的需求也日渐增多。电子接插件的塑料构件一般采用注塑工艺生产。由于受工艺参数的准确度、注塑机械和模具的精度、材料的性能等因素的影响,注塑产品不可避免地会偶尔出现如缩瘪、飞边、缺角、尺寸

不准等缺陷。在成品检验时必须剔除这些缺陷产品。传统的成品检验方法主要依靠人工目测进行。人工目测检测方法的劳动强度大、成本高且检测效率低,又由于存在主观因素的影响,使得人工目测的方法很难保证检测质量的稳定可靠。

近年来,随着计算机图像处理技术的不断进步与发展,人们开始研究利用计算机图像处理技术进行机器视觉检验方法。在注塑产品视觉检测的实践中,目

收稿日期: 2014-03-07

作者简介: 于 骁(1990-),男,山东青岛人,主要从事故障检测技术应用方面的研究。E-mail: yuxiao0206@hotmail.com

通信联系人: 许哲雄,男,副教授。E-mail: xuzhexiong@tongji.edu.cn

前主要使用的方法分为比较拓扑结构数值参数的方法,以及比较图像域像素差异的方法^[1-2]。对于前者,无论是通过骨架曲线提取算法分析注塑件拓扑结构^[3],还是通过提取形状特征向量作为判别标准^[4],计算量都相对较大,甚至需要专用的设备^[5],且仅适用于特定的产品检验^[6],不具有通用性。而在采用比较图像域像素差异的方法的实际工程应用中^[7],由于塑料构件的体积微小而难以精确定位,需要设计精密的机械传送、定位、分拣装置。该精密机械装置的成本巨大且机械定位的准确度难以精确调整并长期保持。据成本测算,在一套机器视觉检验设备中,精密机械装置的成本占到60%以上。此外,即使通过精密机械装置定位后,摄影系统所获得的塑料构件的待检图像也会有少量的位置误差。若不对待检图像进行高精度的位置矫正,则难以在后续的图像处理与缺陷判别过程中实现准确地检测。

因此,本研究设计一套新颖的计算机图像处理软件系统,以便在廉价的低精度机械定位装置上实现对待检图像的高精度检测,从而可以大幅降低精密机械定位装置的成本。

1 图像预处理

图像预处理的流程,首先是对原始图像进行自适应中值滤波,继而进行自适应阈值处理,最终进行边缘检测。其中自适应中值滤波的方式和传统的中值滤波器一样,都使用了一个矩形区域的窗口,不同的是在滤波过程中,自适应滤波器会根据设定的条件调整滤窗的大小;当判断滤窗中心的像素是噪声时,该值用中值代替,否则不改变其当前像素值^[8]。

在该系统中,自适应滤波器的最小窗宽为3,滤窗上限宽度与边缘检测中使用的高斯滤波器窗宽一致。

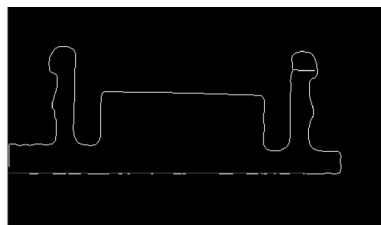
而判断滤窗中心像素是否是噪声的依据是:若 $\exists X_{ij} = \min(A_{ijn})$ or $\max(A_{ijn})$,在 $Med_{ijn} \neq \min(A_{ijn})$ 且 $Med_{ijn} \neq \max(A_{ijn})$ 时成立,则判定该点为噪声。

设定的滤窗自适应增大的条件是: $Med_{ijn} = \min(A_{ijn})$ or $\max(A_{ijn})$, 而若 $Med_{ijn} = \min(A_{ijn})$ or $\max(A_{ijn})$, 对于 $\forall n \leq S_{max}, n=1,3,5\dots$ 均成立,则 X_{ij} 为信号点。

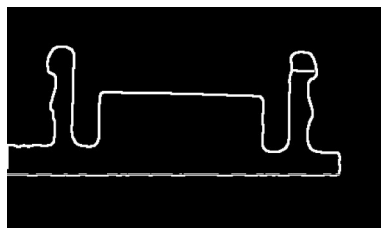
其中: A_{ijn} —以图像中的点 (i,j) 为中心的窗宽为 n 的正方形滤窗的 $n \cdot n$ 个点的灰度值向量; Med_{ijn} — A_{ijn} 向量的中值; X_{ij} —点 (i,j) 的灰度值。

该系统将注塑件的最长直线边缘作为需要识别的特征之一,故为了保证最长直线边缘能够准确地被Hough变换所检测,需要使检测出的边缘具有一定的宽度。而为了增加检测出的边缘宽度,系统要利用

Canny算子本身的双门限特点。而为了利用其双门限的特点,本研究在边缘检测时并不使用二值图像,仅使用其灰度值图像。通过适当降低低门限阈值的数值,使检测到的边缘粗糙而连续。之后就可以通过对Canny算子提取出的边缘使用像素级宽的矩形结构元素进行图像形态学膨胀,来增加边缘宽度。Canny算子阈值对比如图1所示。Canny算子的阈值取 $[0.3, 0.6]$ 时的检测边缘如图1(a)所示,Canny算子的阈值取 $[0.1, 0.6]$ 且经过边长为3像素的矩形结构元素膨胀处理后的检测边缘如图1(b)所示。本研究将经过Hough变换后所检测到的最长直线以红色显示在原图上,通过对比可以看出:尽管该操作会使检测到的虚假边缘有所增加,但其削弱了边缘直线的凹凸对直线检测的影响,对Hough变换的直线检测是有利的。



(a) 阈值取 $[0.3, 0.6]$ 时的检测边缘



(b) 阈值取 $[0.1, 0.6]$ 且经膨胀后的检测边缘

图1 Canny算子阈值对比

2 图像位置配准

经过预处理后的图像就可以进行位置配准,图像位置配准的流程如图2所示。Fourier变换域配准方法在降低对噪声的敏感性和减少编程的复杂度方面都有一定的优势,但这一方法在图像矩阵较大时运算量巨大,即便采用了FFT算法,仍不能很好地满足产品在线检测的速度要求。故在该方案中,Fourier变换域配准

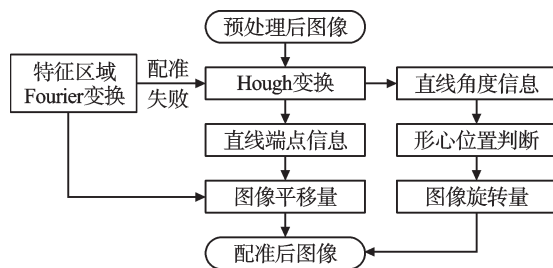


图2 图像位置配准流程

方法仅用于当使用 Hough 变换配准方法中直线两侧端点均配准均失败,导致对待检图像的判断为不合格品时,作为提高检测精度、减少误判的辅助运算的方法。

本研究之所以使用 Fourier 变换域配准方法作为辅助运算,是由于 Hough 变换的判断方法对最长直线的完整性有一定要求,当可允许的微小缺陷存在于注塑产品的最长直线上时,可能会引起系统的误判。当然,Fourier 变换域配准是以牺牲在线检测速度为代价的。

2.1 Hough 变换

模板图像及其待检图像经由 Hough 变换后,得到的最长直线端点及角度参数如图 3 所示。根据 theta 值将图像旋转后,由模板图像的 point1(或 point2)坐标值与待检图像的对应值相减,即可得到由 Hough 变换得出的图像平移量。

lines(1,1) <1x1 struct>			
Field	Value	Min	Max
point1	[1,203]	1	203
point2	[399,203]	203	399
theta	-90	-90	-90

(a) 模板图像端点及角度参数

lines(1,1) <1x1 struct>			
Field	Value	Min	Max
point1	[9,222]	9	222
point2	[405,187]	187	405
theta	85	85	85

(b) 待检图像端点及角度参数

图 3 经 Hough 变换得出的直线参数

2.2 特征区域 Fourier 变换

Fourier 变换可以用于计算模板图像与待检图像的相关性,用于对某些模板的形状特征进行定位。进行特征区域 Fourier 变换需要事先选取该种塑料构件具有代表性的或关键位置的局部模板图像,方式是将这些局部模板图像旋转 180° ,然后使用基于与待检图像的 FFT 变换卷积计算技术进行运算,找到其 IFFT 反变换后实部最大值的位置。这就可作为该特征在待检图像中的位置信息,从而用于确定待检图像相对于模板图像的平移量。由于特征区域的选取可以由用户在标准模板中任意指定,系统具有良好的灵活性。当本研究在模板图像中选取如图 4 所示的左侧插头作为特征区域,对如图 5 所示的待检图像进行 Fourier 变



图 4 左侧插头特征区域



图 5 待 Fourier 检测图像

换检测时,可得待检图像的 IFFT 反变换后实部最大值,即左侧插头的位置坐标是(116,107),而该插头在图 7 的标准模板中的位置坐标是(83,89),说明其图像的平移量为(33,18)。图 5 中的左侧插头形状与图 4 中的标准模板有一定的形状差异,但其仍旧能很好地完成特征区域的匹配。

2.3 图像配准

仅仅知道直线的角度信息是不足以完成待检图像的旋转的,还需要结合形心位置判断,确认待检物与检测出的边缘直线的相对位置,从而才能正确得出待检图像中对象相对于标准模板中对象的旋转量。具体的判断方式是以最长直线的端点坐标构造方程,将形心的 x 坐标值代入方程,判断形心的 y 坐标与方程解的值大小。

再结合由 Hough 变换或 Fourier 变换得到的图像平移量,就可以将待检图像与模板图像位置配准,继而进行后续的缺陷检测。同时,需要保证配准后的图像与模板图像矩阵具有相同的大小,以方便后续的差影运算。考虑到待检图像中对象在旋转过程中,可能会出现待检塑料构件对象旋转后有局部超出图像矩阵的边界的情况,故可以在旋转前人为地将图像边界扩大一倍,再在配准时将扩大的背景边界根据配准坐标位置删除。从而在保证最终矩阵大小不变的情况下,保证图像的旋转不会使待检塑料构件对象的局部信息丢失。

3 缺陷检测

位置配准后的图像即可进行缺陷检测,其流程如图 6 所示。

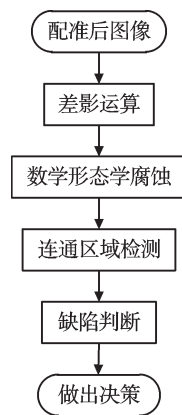


图 6 缺陷检测流程

差影运算将待检图像与模板图像中每个像素点进行灰度值相减,从而找出两幅图像之间的差异。在该图像处理系统所使用的二值图像中,是使用对两矩阵中的对应点的值进行异或来实现的,从而既能显示

出待检图像相对于模板图像所多余的部分,也能显示出待检图像相对于模板图像所缺少的部分。经过差影运算所得到的差影图像是缺陷检测部分的核心,后续的检测都是在其基础上进行的。

待检图像为了与模板位置匹配需要经过图像旋转操作,而在旋转过程中,由于图像本身各像素点的离散性,图像中的对象经旋转后会因所使用的插值算法的不同而产生或多或少的边缘模糊,直接使用这种图像与标准模板做差影运算,会产生像素级宽的围绕待检物的虚假边缘。故在该图像处理系统中,使用腐蚀运算的主要目的就是消除差影图像中的虚假边缘,从而在后续的连通性检测中不会将这一部分连通的虚假边缘认为是一个面积较大的缺陷而造成误判。

这里的连通区域是指差影图像中的像素点根据不同的连通性标准相互连通而形成的区域。由于影响注塑产品质量的是缺陷面积较大的、影响正常使用的缺陷,而采用八联通标准判断会导致本身面积较小的缺陷区域粘连成为面积较大的缺陷区域,降低产品合格率。故本研究选择使用四联通标准进行连通区域检测。

最后,本研究根据连通区域检测的结果,将每个缺陷区域编号,依次判断每个缺陷区域的面积,设置门限值,当存在某个缺陷区域面积高于门限值时,给出“不合格”的逻辑判断,同时对该缺陷区域进行着色,在检测图像中予以标注显示。

4 运行结果及分析

该图像处理系统的软件编程是通过 Matlab 实现的。Matlab 由于其出色的图像处理功能,加之其 m 文件可以通过编译成 dll 文件被 C# 等其他适用于控制的高级语言调用的特点,故可以直接应用于机器视觉检测系统的控制软件中,作为其核心的图像处理模块^[9-10]。

4.1 运行效率

Profiler 工具是 Matlab 提供的功能强大的代码分析工具,利用它可以获取代码的运行时间及调用次数等有助于分析和改进代码的信息。在一台 CPU 主频为 2.67 GHz 的电脑上运行本图像处理系统的主程序,处理一幅 454×266 的待检图像,可以得到的运行结果如表 1 所示。有初始化是指:系统首次运行时将端点坐标及直线角度等数据从模板图像中提取出来所需要的初始化;而无初始化意味着模板数据已知,只需

要对待检图像的参数进行提取。对于固定的模板而言,只需首次运行时提取模板数据存储在内存中即可。有 Fourier 变换意味着 Hough 变换配准失败,需要使用 Fourier 变换域配准。通过对比不难发现,采用 Fourier 变换域配准时所需的运算时间较长,在一定程度上限制了图像处理系统的实时性。故而仅在 Hough 变换配准失败时使用 Fourier 变换域配准作为辅助判断的手段,是在降低系统的误判率和增强系统的实时性之间取得较好效果的折中方案。

表 1 经 Profiler 工具测试的系统运行时间

运行状态	运行时间/s
无初始化无 Fourier 变换	0.668
有初始化无 Fourier 变换	0.700
无初始化有 Fourier 变换	1.327

4.2 缺陷检测结果分析

模板图像如图 7 所示,待检图像及输出结果如图 8 所示,本研究以具有较多毛糙且右侧接头断裂的图 8(a)与另一合格品图 8(b)作为待检图像,取门限值为



图 7 模板图像



(a) 有较多毛糙且右侧接头断裂的缺陷产品图像



(b) 合格产品图像



(c) 对(a)中缺陷产品的检测结果 (d) 对(b)中正常产品的检测结果



图 8 待检图像及输出结果

(下转第 1052 页)

本文引用格式:

于 晓,许哲雄. 注塑产品在线检测的图像处理系统设计与研究[J]. 机电工程,2014,31(8):1027-1030,1052.

YU Xiao, XU Zhe-xiong. Design and research of injection products online detection image processing system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(8): 1027-1030, 1052.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

势,当切削速度达到某一值时,表面粗糙度值达到最小值;当切削深度增大时,表面粗糙度略有增加,但影响不大。

(3) 通过后续试验可进一步研究硬车削轴承套圈过程中切削力、切削温度的变化规律;研究刀具、工件内应力的分布规律及对工件表面质量的影响,形成一套可以应用于实际生产加工的参数。

参考文献(References):

- [1] 于凤丽. 硬车削加工技术的应用研究[J]. 机械工程与自动化,2010(3):209-210.
- [2] 杜国臣. 陶瓷刀具硬车削GCr15钢的试验研究[J]. 工具技术,2008,42(10):88-90.
- [3] TOENSHOFF H K, ARENDT C, BEN A R. Cutting hardened steel[J]. *Annals of the CIRP*,2000,49(2):1-19.
- [4] 崔伯第,殷宝麟,郭建亮. 淬硬钢高速硬车削表面粗糙度的试验研究[J]. 机械设计与制造,2012(8):198-200.
- [5] 崔伯第. 硬车削淬硬轴承钢GCr15表面粗糙度的试验研

究[J]. 机械设计与制造,2013(7):150-152.

- [6] 查文炜,何 宁. 高速铣削淬硬钢表面粗糙度的试验研究[J]. 工具技术,2007,41(3):12-15.
- [7] ARSECULARATNE J A, ZHANG L C, MONTROSS C, et al. On machining of hardened AISI D2 steel with PCBN tools [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008,206(1-3):167-179.
- [8] 钟万胜,乔东旭. 硬车削在滚动轴承套圈加工中的应用[J]. 轴承,2010(12):10-12.
- [9] OZEL T, KAPPAT Y. Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regressing and neural networks [J]. *Machine Tools and Manufacture*, 2005,45(4-5):467-479.
- [10] 陈 涛,刘献礼. PCBN 刀具硬态切削淬硬轴承钢 GCr15 表面粗糙度试验与预测[J]. 中国机械工程,2007,18(12):2973-2976.
- [11] 陈光军,毕立歌,薛 迪,等. 精密切削淬硬轴承钢 GCr15 的表面粗糙度预测与加工参数优化[J]. 河北科技大学学报,2012,33(2):119-121.

[编辑:程 浩]

本文引用格式:

谢 军,张亚萍. 硬车削滚动轴承套圈的试验研究[J]. 机电工程,2014,31(8):1049-1052.

XIE Jun, ZHANG Ya-ping. Experimental study on hard cutting ball bearing[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*,2014,31(8):1049-1052.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1030 页)

模板总面积的5%时,最终系统给出了如图8(c)、8(d)所示的输出结果图像。在输出结果图像中,已将待检图像旋转平移至模板图像位置,并在该坐标系下显示了与模板图像的各处差异,并将缺失严重的右侧插头处着色显示,给出该待检图像是否存在缺陷的判断。

由于该系统使用了Hough变换求取的最长直线的角度信息作为判断图像旋转量的唯一标准,该系统对于电子接插件等有明显直线轮廓的产品有较好的适用性,但还不能适用于不含明显直线轮廓的产品检测(如齿轮、曲线构件等)。

5 结束语

从检测结果及分析中可以看出,本研究通过特征位置定位的塑料构件在线检测图像处理系统具有较好的实时性和准确性,可以在低成本的机械定位装置上实现较高精度的机器视觉检验,在塑料构件的在线检测中具有一定的实用价值。

该图像处理系统还需要进一步与图像摄取装置以及机械传送、定位、分拣装置的控制软件配合,以组成完整的塑料构件产品机器视觉检测系统。

参考文献(References):

- [1] LI J, ALLINSON N M. A comprehensive review of current local features for computer vision [J]. *Neurocomputing*, 2008,71(10):1771-1787.
- [2] 金立军,姚春羽,闫书佳,等. 基于航拍图像的输电线路异物识别[J]. 同济大学学报,2013,41(2):277-281.
- [3] 吕 哲. 注塑制品视觉检测关键技术研究[D]. 沈阳:东北大学信息科学与工程学院,2009.
- [4] 孙天瑜. 基于机器视觉的注塑制品缺陷检测系统研究[D]. 沈阳:东北大学信息科学与工程学院,2008.
- [5] 赵 苓,姚 静. 基于图像分析的多参数物料检测系统研究[J]. 机电工程,2014,31(3):295-300.
- [6] 余 婷,厉小润. 基于SIFI的全自动遥感图像配准算法[J]. 机电工程,2013,30(1):111-115.
- [7] 厉晓飞. 基于机器视觉的汽车零件缺陷检测技术研究[D]. 武汉:武汉理工大学汽车工程学院,2012.
- [8] 植赐佳. 基于机器视觉的印刷品缺陷自动检测系统[D]. 广州:广东工业大学自动化学院,2011.
- [9] 李 芳. 基于LabVIEW与Matlab的某管类零件缺陷图像处理技术[J]. 兵工自动化,2012,31(10):83-85.
- [10] 张 强. 精通Matlab图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2012.

[编辑:程 浩]