

基于计算机视觉的冲压件表面缺陷检测方法

深圳信息职业技术学院软件学院 陈宝文 中国科学院深圳先进技术研究院 姜 军

[摘 要]本文提出了一种新的用于检测冲压件表面缺陷的视觉系统。该系统利用一组LED条形光源从冲压件表面的四周打光,这样做可以使光线的主要辐射能量沿着平行于表面的方向,进而增强了表面缺陷和冲孔边缘的成像效果,简化了刮痕等表面缺陷的定位,以及冲孔尺寸和位置的测量。因此,系统可以通过有效的形状和尺寸分析对缺陷进行分类。本文提出的视觉检测系统是整个自动分拣系统中的核心部分,实际运行效果验证了本文系统的有效性。

[关键词]缺陷检测 表面缺陷 打光 冲压件

金属冲压件在生产过程中会产生划伤、麻点、夹杂、凹凸,以及锈斑等表面缺陷。表面缺陷检测的发展可以划分为三个阶段:人工检测阶段、激光扫描和CCD成像技术检测阶段、信息化发展阶段。目前常用的缺陷检测方法有:涡流检测方法、红外检测方法、漏磁检测方法、计算机视觉检测方法。采用涡流、红外和漏磁等检测技术的检测原理的局限性导致可检测出的缺陷种类和缺陷定量描述的参数非常有限,无法综合评估产品的表面质量状况,因此相应的检测系统只适用于某些应用要求不高的场合。而CCD器件自身所具有的轻便、高精度和易配置等特点,使得基于计算机视觉的检测方法成为当前金属表面缺陷检测的主要方法。

基于计算机视觉的缺陷检测系统的研究工作始于上世纪九十年代。Oh^[1]利用改进的MF估计器稳定地对背景进行估计,并分割出表面缺陷。Chang^[2]提出了一种方法,通过干涉图案自动地量化了波纹板表面缺陷。这种方法具有两个优点:(1)降低了液晶材料的损耗;(2)改进并加速了生产过程。德国的Parsytec公司设计了一个针对热轧带钢的检测系统,并将其应用到实际的生产线上^[3]。通常,缺陷检测系统包括:图像采集模块、照明模块,以及控制模块等。为了达到理想的照明效果,系统需要拆除生产线上的滚轮,安装隔板并且同时打光。Gurbuz^[4]描述了一种利用被动成像和模糊集概念的图像分析方法,用于实时的表面缺陷检测。这种方法根据经验对表面缺陷特征进行了先验知识描述,因而为正样本和负样本的自主学习提供了便利。此方法包括学习模块中的模糊集概念和图像分割算法,有效地模拟了人类视觉的感知原理。然而现有的基于计算机视觉表面缺陷检测系统,由于技术水平和检测环境的制约,所采集图像的清晰度和对比度不够高,图像数据实时处理能力不够快,并且缺少通用的图像处理和模式识别算法。

本文提出一种有效的表面缺陷检测方法,用于实时分拣冲压件中的合格品和不合格品。本方法利用一组LED条形光源,光源从冲压件的四周沿着其表面照射。这样做可以提高检测目标和非检测区域之间的对比度,进而简化了缺陷检测的难度,并且提高了检测的精度。然后采用边缘检测和连通域分析来提取缺陷特征,并计算冲孔的位置和尺寸。最后系统对检测到的缺陷进行分类,并向分拣系统发出控制信号。

1. 系统描述

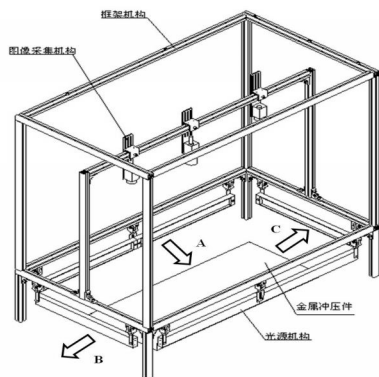


图1 系统结构示意图

1.1 系统组成

本文提出的检测系统主要包括:线性照明单元、图像采集单元、图

像处理单元和分拣单元。如图1所示,一旦有金属冲压件沿方向A被传送到指定位置,系统即开始一个工作周期。当冲压件处于静止状态时,系统先后执行照明和图像采集。系统执行图像处理和决策步骤的同时开始下一个周期的照明和图像采集的步骤。这样做可以提高系统的工作效率。系统决策结果传送到控制模块,对冲压件进行分拣,合格品沿着方向B传送,不合格品沿着方向C传送。

1.2 照明方法

1.2.1 打光策略

本文中条形光源的打光方向设计为近似平行于冲压件表面,而摄像头的光轴方向垂直于冲压件表面。在图2所示的金属表面光路示意图中,我们通过调节图1中的光源机构,使 θ 尽量减小。这样设计的优点是:摄像头不在入射光的反射路径上,如果冲压件表面没有缺陷,那么光源在冲压件表面近似镜面反射,摄像头的光通量很低,表面图像近似为黑色;如果冲压件表面存在凹凸、刮痕等三维缺陷(图2中的区域 Ω),那么入射光将在表面产生强烈的漫反射,摄像头的光通量增加,因此摄像头观测到近似为白色的缺陷区域。摄像头观测到的冲压件表面反射光强可用式(1)表示,

$$f(x,y)=i(x,y)r(x,y) \quad (1)$$

这里 $f(x,y)$ 表示摄像头在空间坐标点 (x,y) 处观测到的光强, $i(x,y)$ 和 $r(x,y)$ 分别表示 (x,y) 处入射光强和冲压件表面的反射率。

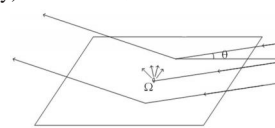


图2 金属表面光线反射示意图

同理,冲孔的边缘由于存在高度变化而在图像中呈现高亮直线或圆弧。为了提高检测目标(表面刮痕、冲孔边缘等)相对于无关图像(无缺陷表面)的对比度,本文提出了新颖有效的打光策略。即先沿图3中方向I和II照射一次,再沿方向III和IV照射一次,并且在每一次照射的同时,每个摄像头各采一幅图像。当方向I和II的光源点亮时,采集图像突出了冲压件上平行于y方向的所有边缘的对比度,例如冲压件边缘11和冲孔边缘13,同时突出了刮痕15以及凹凸16的对比度,此时刮痕15在x方向上投影分量最大;当方向III和IV的光源点亮时,采集图像突出了冲压件平行于x方向的所有边缘的对比度,例如冲压件边缘10和冲孔边缘12,同时突出了刮痕缺陷14的对比度,因为刮痕14在y方向上投影分量最大。

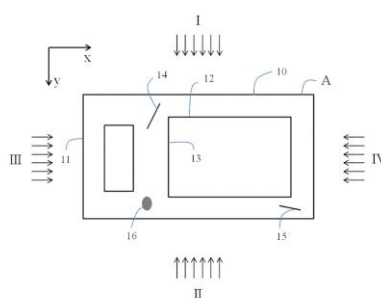


图3 照明和检测方案示意图

1.2.2 边缘效应

上一小节中的打光方法能够对边缘精确定位,同时获取刮痕和凹凸等表面缺陷的精确位置。如果当方向III和IV的光源点亮时检测冲孔边缘13,那么边缘13的图像坐标位置比真实位置向右偏移,最终导致计算得到的冲孔尺寸比真实尺寸偏大。图4解释了这种边缘效应,冲孔13的边缘实际存在一个圆弧区域,这是冲压工艺导致的。当方向IV照射时,此圆弧区域的反射光被摄像头接收,导致检测到的冲孔边缘为13',进而导致冲孔的计算尺寸偏大。

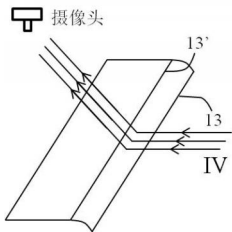


图4 冲孔的边缘效应

1.3 缺陷检测

图5显示了本文缺陷检测系统的流程图。假定使用两个摄像头来覆盖整个冲压件,首先,需要对图像采集系统进行标定。如果冲压件的规格固定,那么只需要对系统标定一次,进而可以建立两个图像坐标系之间的对应关系。此外,通过用户界面可以设置系统参数,包括:照明亮度、参考线索引、参考线搜索范围、灰度阈值,以及误差容限等。照明亮度通过数字化的照明强度来调节。

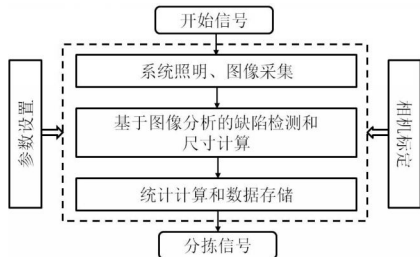


图5 缺陷检测系统流程图

1.3.1 冲孔缺陷检测

我们事先对所有的水平和竖直边缘进行标注,并且选择一条竖直边缘作为参考线,来计算水平方向的尺寸。选择一个水平边缘作为参考线,来计算竖直方向的尺寸。由于冲压件静态位置与预设位置可能存在一点偏差,冲压件的边缘将会在图像坐标系中存在一定平移。因而需要通过经验设定搜索范围,来精确地找到参考线以及各个边缘。灰度阈值用来获取二值图像,将边缘和缺陷信息从背景中分离出来。误差容限用来确定冲孔尺寸是否合格。

当系统接收到可编程逻辑控制器(PLC)发出的开始工作信号时,系统开始先后交替地进行照明和图像采集。然后系统利用有效的图像处理提取边缘信息和缺陷区域。利用公式(2)-(5)所示的双边滤波算法^[5],在指定边缘区域进行平滑滤波和边缘保持,进而提高边缘检测的准确性。

$$h(x) = k^{-1}(x) \sum_{\Omega} f(\xi) c(\xi, x) s(\xi, x) \quad (2)$$

$$k(x) = \sum_{\Omega} c(\xi, x) s(\xi, x) \quad (3)$$

$$c(\xi, x) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\xi - x}{\sigma_c} \right)^2} \quad (4)$$

$$s(\xi, x) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{f(\xi) - f(x)}{\sigma_s} \right)^2} \quad (5)$$

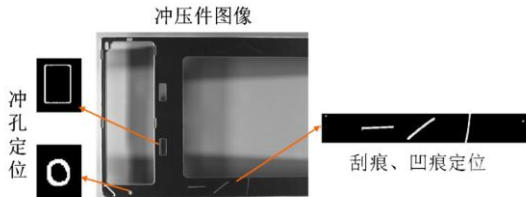


图6 经过双边滤波和边缘检测的冲孔和缺陷定位效果

这里,权值 $c(\xi, x)$ 度量两个像素点之间的距离。权值 $s(\xi, x)$ 度量两个像素点灰度值之间的相似度。归一化项 $k(x)$ 保证滤波窗口中权值之和等于1,进而利用边缘检测算法确定冲孔边缘和冲压件边缘,最后利

用细化算法^[6]提取所有边缘的骨架。图6为经过双边滤波和边缘检测的冲孔和缺陷定位效果。系统计算图像坐标系中参考线与相同方向上边缘之间的相对距离。相对距离包括:冲孔尺寸、相邻冲孔间的距离。进而系统将像素距离变换为尺度距离,并与CAD中预先保存的标准尺寸进行比较。

1.3.2 表面缺陷检测

冲压件表面缺陷包括:划伤、凹凸等。利用图像二值化方法在冲压件表面指定区域将缺陷信息从背景图像中分割出来,进而利用形态学算法确定缺陷区域的连通域。系统通过计算缺陷连通域的中心来确定其表面位置。令 $\Delta x = |x_{\max} - x_{\min}|$, $\Delta y = |y_{\max} - y_{\min}|$,则缺陷连通域的中心为 $(x_{\min} + \frac{\Delta x}{2}, y_{\min} + \frac{\Delta y}{2})$ 。本文通过表1中的连通域形状分析确定缺陷的类别,其中 N 表示连通域像素数,阈值 τ_1 和 τ_2 根据实际需求设定。根据图像坐标,系统可以对指定区域内的缺陷进行计数,并对缺陷进行统计计算,为后续改进生产提供必要的统计数据。相邻两个相机公共图像区域中的每个缺陷只计数一次。当完成一个缺陷检测周期时,系统将输出分拣控制信号,并将检测结果按照时间顺序保存在Excel表格中。

1.3.3 缺陷检测算法

(1)提取冲孔及冲压件边缘。利用双边滤波器在指定边缘区域进行平滑滤波和边缘保持,进而利用Sobel算子实现边缘检测,最后利用细化算法提取所有边缘的骨架。

(2)确定缺陷连通域。在指定检测区域进行图像二值化,进而利用形态学算子确定缺陷区域的连通域。

(3)缺陷检测及分类。根据实际需求计算参考线与相同方向上边缘之间的相对距离,并与标准距离进行对比。根据表1中的连通域形状分析方法对缺陷进行分类。

表1 连通域形状分析方法

横向刮痕		$\frac{\Delta x}{\Delta y} \geq \tau_1$
纵向刮痕		$\frac{\Delta x}{\Delta y} \leq \frac{1}{\tau_1}$
斜向刮痕		$\frac{1}{\tau_1} < \frac{\Delta x}{\Delta y} < \tau_1$, 且 $\frac{N}{\Delta x \cdot \Delta y} \geq \tau_2$
凹凸缺陷		$\frac{N}{\Delta x \cdot \Delta y} < \tau_2$

2. 实验结果

本节将评估此方法的性能。自动光学检测(AOI)系统如图7所示。由于待检测的冲压件的尺寸为 $432 \times 235 \text{mm}^2$,我们采用两个摄像头来覆盖整个物体表面。根据系统空间的限制,物距设置为450mm。选用130万像素的工业CCD,CCD帧频为30帧/秒,系统设计的测量精度为0.5mm。

冲压件表面的缺陷类型有三维缺陷和二维缺陷。其中三维缺陷包括:刮痕、凹陷和凸包。二维缺陷包括:不合格的冲孔尺寸和位置。为了提高表面缺陷与无关背景之间的图像对比度,本文提出了一种新颖有效的打光方法,进而利用1.3.3小节中的算法检测缺陷。当视觉模块接收到PLC发出的开始信号时,LED模块从图3中的I和II、III和IV方向分时照射冲压件表面,每一次打光的同时采集两张图像。图8显示了生产线上的检测结果,其中图8(a)表示位于指定位置冲压件的原始图像,图8(b)为缺陷检测之后的结果图像。红色点表示系统检测到的具有计数索引的缺陷,蓝色窄框表示对检测到的冲压件表面边缘的定位结果。视觉模块完成表面缺陷检测之后,将决策信号发送给PLC,图8(a)中的冲压件被作为不合格品分拣出来。本系统的检测速度为25件/分,达到了实时检测的要求。冲压件缺陷检测 (下转第5页)

应该与输入数据的偏差平方和最小。设偏差 $\Delta=f(x_i)-y_i$,且 Δ 平方和达到最小,即目标函数 $\phi=\sum_{i=1}^n \Delta^2$ 最小,这样,通过对 ϕ 中的 a 和 b 求偏导可得:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4)$$

$\arctan a$ 则即为倾斜角。根据求出的倾斜角将原图像 $X1$ 校正,设校正后的图像为 $X4$ 。



图4 $X1$ 倾斜校正后的图像 $X4$

3.实验结果

实验在VS2012平台结合OpenCV实现,采用了倾斜角不大于20度的50幅身份证图像作为实验图像。实验结果表明,采用本文方法对身份证图像倾斜校正后,误差不超过0.5度,这种误差不会影响OCR引擎对字符的识别准确率。但是对于头像模糊以致不能正确提取头像,或是头像受损影响头像下边缘直线拟合的身份证图像,该算法将失效。

4.结语

本文提出了一种身份证图像倾斜校正算法,先将图像腐蚀,去除小

目标,然后利用像素的连通性进行膨胀,将头像较为完整地恢复,利用头像下边缘上的20个点进行直线拟合,求出倾斜角,将图像校正。实验表明,本文算法对头像较为完整的图像都适用,校正后,误差较小,能够满足后续的字符识别要求。

参考文献

- [1]周冠玮,平西建,程娟.基于改进Hough变换的文本图像倾斜校正方法[J].计算机应用,2007,27(7):52-57.
- [2]贾晓丹,李文举,王海蛟.一种新的基于Radon变换的车牌倾斜校正方法[J].计算机工程与应用,2008,44(3):245-248.
- [3]Aithal, Prakash K., Rajesh, G., Siddalingaswamy, P. C. et al. A novel skew estimation approach using radon transform[C]//2011 11th International Conference on Hybrid Intelligent Systems. 2011:1-4.
- [4]Ciardiello G, Scafur G, Degrandi M, et al. An experimental system for office document handling and text recognition [C]//Proceedings of Ninth International Conference on Pattern Recognition, 1998:739-743.
- [5]Baird H S. The Skew angle of printed documents[C]//SPSE 40th Annual Conference and Symposium on Hybrid Imaging System, 1987:739-743.
- [6]Ying-Hong Liang, Zhi-Yan Wang. A skew detection method for 2d bar code images based on the least square method[C]//International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2006:3975-3978.
- [7]殷瑞祥,李国华.身份证号码的自动识别系统[J].华南理工大学学报(自然科学版),2002,30(2):94-96.
- [8]何斌,马天予,王运坚,等. Visual C++ 数字图像处理[M].北京:人民邮电出版社,2002.
- [9]郭艳平,丁万山.基于投影法定位与分割的美元号码识别系统[J].航空计算技术,2007,37(5):45-48.

(上接第3页)

正确率达95%以上。

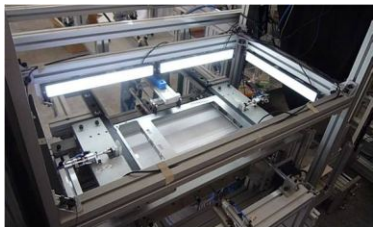


图7 本文设计的AOI系统

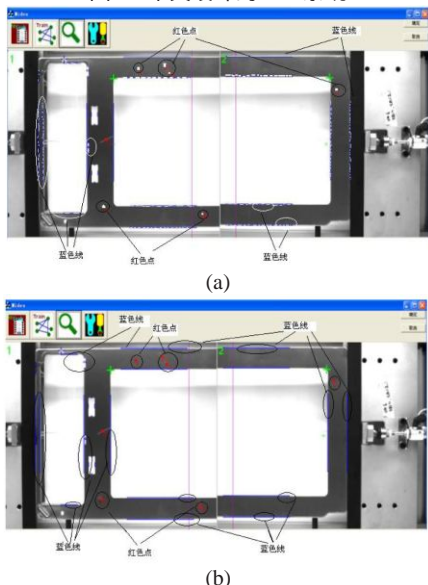


图8 缺陷检测结果

3.结论

本文提出了一种基于计算机视觉的冲压件表面缺陷检测系统,能够有效地检测冲压件表面的各种缺陷。同时提出了一种有效的照明方法,能够提高检测目标与无缺陷背景之间图像对比度。与其他的表面检测系统相比,本文的方法具有低成本、高精度、体积小,以及可操作性强等优点。实际的运行效果证实了该方法在表面缺陷检测和尺寸测量方面的有效性。

参考文献

- [1]C. Oh, H. Joo and K. Rew, "Detecting low-contrast defect regions on glasses using highly robust model-fitting estimator," International Conference on Control, Automation and Systems, 2138-2141, (2007).
- [2]R. Chang, J. Tsai, T. Li, L. Ho and C. Yang, "Pretest gap mura on TFT LCDs using the interference pattern method," IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 57-61, (2011).
- [3]D. Park, M. Levoi and A. Haneghem, "Practical application of on-line hot strip inspection system at Hoogovens," Iron and Steel Engineer, 72(7), 40, (1995).
- [4]S. Gurbuz, A. Carver and R. Schalkoff, "Surface blemish detection from passive imagery using learned fuzzy set concepts," in Proceedings of Engineering new New Century, IEEE, 310-314, (1997).
- [5]C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," 6th IEEE International Conference on Computer Vision, 839-846, (1998).
- [6]T. Zhang and C. Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns," Communications of The ACM 27(3), 236-239, (1984).