文章编号：2096-1472(2016)-08-38-03

基于机器视觉的工件锯片缺陷检测系统设计

管小卫，丁 琳
（江苏财经职业技术学院机械电子与信息工程学院，江苏 淮安 223003）

摘 要：针对利用人的感觉器官在工业生产线检测中的不足，提出了一个基于机器视觉的锯片缺陷检测系统。通过工业数码相机等硬件采集图像信息，采用亚像素精度阈值分割等图像处理算法并借助机器视觉库Halcon对采集的原始图像进行处理，最后输出检测结果，提高了工业生产线检测的效率。

关键词：机器视觉；锯片；检测系统
中图分类号：TP391.41 **文献标识码**：A

Design of Machine Vision-based Defect Detection System for Workpiece Saw Blade

GUAN Xiaowei,DING Lin
(*School of Mechanical Engineering and Information Technology Jiangsu Vocational and Technical College of Finance & Economics,Huaian* 223003,*China*)

Abstract: Aiming at the shortage of the human sense organs in the industrial production line detection,the paper proposes a machine vision-based defect detection system for workpiece saw blade.The system applies industrial digital cameras to collect images,uses sub-pixel accuracy threshold segmentation as the image processing algorithm,adopts the professional machine vision library,Halcon,to process the original images,and finally outputs the test results.The system actually improves the detection efficiency of the industrial production line.

Keywords:machine vision;saw blade;detection system

1 引言(Introduction)

机器视觉工件检测系统要求能在生产线上实时、准确地利用一些经典的边缘检测算子，比如Sobel算子、Prewitt算子[1]、Laplace算子和Canny算子[2]及其改进型的LoG算子[3]等图像处理算法检测出工件上主要的缺陷，然后通过统计分析评价出产品的质量状况。若采用传统的人工测量、计算、统计的方法进行识别，其效率极低，且产品质量无法得到有效保证，难以满足高精度的产品测量和高效率的生产线需求[4-6]。目前机器视觉技术进行工件检测，在工业领域应用较广泛，具有非接触、无磨损、高效率等优点[7,8]，弥补了人眼检测的不足。

本文以锯片锯齿两侧的坡口角度缺陷的检测为例，提出了一套基于机器视觉的工件检测系统。该系统由硬件系统和计算机软件系统两大部分组成，主要通过镜头、工业数码相机，图像采集卡等硬件系统完成图像的采集，利用亚像素精度阈值图像分割算法、几何基元的分割算法、轮廓特征提取算法等图像处理算法，借助专业的机器视觉库Halcon[9,10]，设计一个视觉检测软件，对采集的原始图象进行处理并输出结果。

基金项目：2014年淮安市科技指导项目.

2 计算机视觉检测系统的构成(The composition of computer vision inspection system)

计算机视觉检测系统由硬件和软件两大部分构成。硬件系统的功能是用于采集原始数字图像，主要由光源、光学系统、CCD相机、图像采集卡和控制执行模块等几部分组成，软件系统的功能是利用相应的图像处理算法对采集到的图像进行处理和识别。如图1所示。

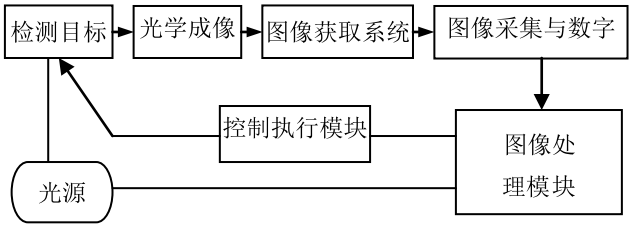


图1 机器视觉工件检测系统结构

Fig.1 The structure of machine vision inspection system

本文以锯片缺陷的检测为例，应根据系统分辨率和检测精度的要求合理地选择检测系统的光源、照明方式、照明环境、工业相机、镜头、图像采集卡等硬件模块，如表1所示。只有采集到优质的锯片检测图像，才能为图像处理提供保

www.cjgcz.com

证，提高检测效率。

表1 系统硬件选择方案

Tab.1 Hardware selection scheme

硬件模块	选择方案
光源	白色高亮LED光源
照明方式	背景光照明方式
照明环境	暗室照明环境
相机	AVT Pike F-100 CCD工业相机
图像采集卡	1394图像采集卡

3 图像处理算法(Image processing algorithm)

机器视觉检测系统另一重要内容是图像处理算法的设计，使用合适的编程语言描述并运行，通过图像处理达到锯片缺陷提取，最终实现机器视觉检测系统的应用。

首先从采集得到的原始图像中提取锯片的轮廓，然后对轮廓进行分离得到锯齿，利用特征提取法得到锯齿轮廓，最后计算出锯齿的坡口角度。如图2所示。

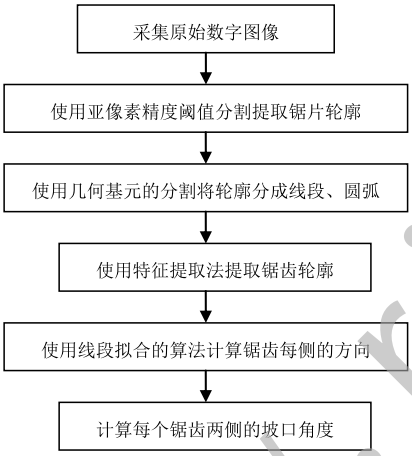


图2 锯片缺陷检测系统图像处理流程

Fig.2 Image processing flow of saw blade defect detection system

3.1 亚像素精度阈值分割算法[11]

若把图像看成是一个连续的函数，那么图像边缘可以定义为若干个点，这些点的方向导数(即灰度值变化率)在垂直于边缘的方向上是局部最大的。

为获取比原始图像更高的分辨率图像，可从原始图像中提取亚像素精度数据，亚像素精度数据可以通过亚像素阈值分割或亚像素边缘提取来获得。最简单的图像分割算法是阈值分割算法。阈值分割的操作被定义为：

$$S = \{(r,c) \in R \mid g_{\min} \leqslant f_{r,c} \leqslant g_{\max}\} \quad (1)$$

式中(r，c)表示某像素的坐标，$f_{r,c}$表示灰度值，$g_{\min}$和$g_{\max}$分别表示选择的最小阈值和最大阈值，该操作表示当灰度值满足式(1)时，则输出到区域S中。阈值分割算法执行速度较快，因为它对每个像素仅比较一次。若图像边缘比较模糊，则所选的阈值对定位边缘有一定的影响。

使用亚像素精度阈值分割算法能得到由一组边缘控制点形成的轮廓。图像上的两个区域以该轮廓分界，两个区域的灰度值分别大于和小于g_{sub}，为得到这个轮廓，可将图像边缘周围的像素“连续”化表示成一个函数。其中一个简单方法就是通过双线性插值来处理，以达到像素细分的目的[12]。

$$\tilde{g} = b(ag_{11} + (1-a)g_{01}) + (1-b)(ag_{10} + (1-a)g_{00}) \quad (2)$$

通过重复选取未被处理的线段和附近的线段，直到形成闭合的轮廓，使用图像灰度函数$f(r,c)$和常量函数$g(r,c)=g_{\text{sub}}$相交运算得到亚像素精度阈值分割的结果。

3.2 几何基元的分割和拟合算法

首先，把轮廓划分为圆弧和直线段，分离直线段和相邻的圆弧形状之间的间隙，然后计算出锯齿的每一侧的方向。通过起始点和结束点将其转化为一条直线并计算这条线的角度。然而，经处理的图像的顶部不一定是非常尖锐的，和理想的锯齿有一定的差异，导致计算锯齿方向错误。因此，使用最小二乘法进行直线拟合，利用轮廓线段上所有的点，这样可以得到拟合很好的直线。

一种常用的直线表示法是直线的黑塞范式，表达式为：

$$\alpha r + \beta c + \gamma = 0 \quad (3)$$

由于参数α、β、γ是齐次的，所以需定义一个比例因子，比例因子通过$\alpha^2+\beta^2=1$来确定。通过对点集(r_i,c_i)到直线距离的平方和做最小化处理来拟合一条直线：

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{n} (\alpha r_i + \beta c_i + \gamma)^2 \quad (4)$$

式(4)在实际应用中是有偏差的，当α、β、γ均为0时，会得到一个零误差，所以，必须加入约束条件$\alpha^2+\beta^2=1$作为拉格朗日乘子，将公式(4)的误差最小化，得式(5)：

$$\varepsilon^2 = \sum_{i-1}^{n} (\alpha r_i + \beta c_i + \gamma)^2 - \lambda(\alpha^2 + \beta^2 - 1)\, n \quad (5)$$

可以看到(α，β)是如下矩阵的较小特征值所对应的特征向量：

$$\begin{pmatrix} \mu_{2,0} & \mu_{1,1} \\ \mu_{1,1} & \mu_{0,2} \end{pmatrix} \quad (6)$$

式中，$\mu_{2,0}$、$\mu_{1,1}$和$\mu_{0,2}$为点集(r_i,c_i)的二阶中心距。$n_{1,0}$和$n_{0,1}$是(r_i,c_i)归一化后的一阶矩阵，$\gamma = -(\alpha n_{1,0} + \beta n_{0,1})$。

最小二乘法拟合直线由于使用平方距离，所以在优化过程中的那些点和线性距离会有一个比较大的权重，给这些点加入权重w_i可减少这些距离点的影响，其权重应该<1。最小化过程见式(7)。

www.rigcz.com

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{n} w_i\left(\alpha r_i + \beta c_i + \gamma\right)^2 - \lambda\left(\alpha^2 + \beta^2 - 1\right) n \quad (7)$$

3.3 图像特征提取

特征提取是对原始图像分割后选出部分轮廓或区域，从中找出一些特征量。

一个闭合且不自相交的轮廓其所围绕的范围将产生一个区域，那么轮廓跟前面提过的区域一样也存在面积。若使用$(r_1,c_1)=(r_n,c_n)$表示一个闭合的轮廓，R表示轮廓包围的亚像素精度区域集合，则阶矩(p,q)可定义为：

$$m_{p,q} = \iint_{(r,c)\in R} r^p c^q \mathrm{d}r\mathrm{d}c \quad (8)$$

由式(8)可以看到，通过轮廓上的控制点能计算出这些矩阵。利用式(9)—式(11)可以计算出轮廓的面积和重心。

$$a = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} r_{i-1}c_i - r_i c_{i-1} \quad (9)$$

$$n_{1,0} = \frac{1}{6a}\sum_{i=1}^{n}\left(r_{i-1}c_i - r_i c_{i-1}\right)\left(r_{i-1} + r_i\right) \quad (10)$$

$$n_{0,1} = \frac{1}{6a}\sum_{i=1}^{n}\left(r_{i-1}c_i - r_i c_{i-1}\right)\left(c_{i-1} + c_i\right) \quad (11)$$

基于矩阵的灰度值特征值计算和基于矩阵的区域特征、轮廓特征均相似。

4 实验结果(Experimental result)

(1)获取图像轮廓

利用机器视觉软件Halcon实现锯片缺陷检测的流程和部分代码，首先提取锯片图像亚像素精度的轮廓，本系统选择的是背光照明，图像背景为白色，锯片为黑色，如图3所示。

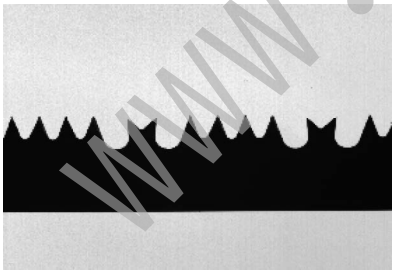


图3 亚像素精度阈值分割得到的轮廓

Fig.3 The contour of the sub pixel accuracy threshold segmentation

(2)图像轮廓分割

通过使用前面描述的算法将轮廓分割为线和圆弧，一方面Ramer算法可区分每个锯齿的正面和后面，另一方面可以将相邻锯齿之间的空隙圆弧和锯齿的直线段部分分离，图4为得到的将原始轮廓分为圆弧和线段后的轮廓结果，图5为去掉过长和过短及圆弧后剩下的锯齿。

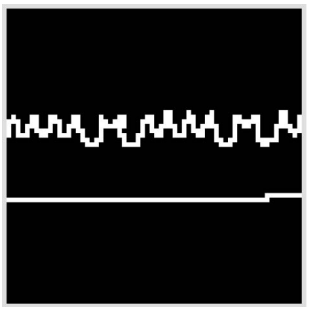


图4 将原始轮廓分为圆弧和线段后的轮廓

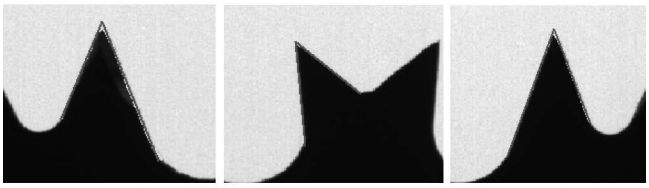
Fig.4 The original outline is divided into the contour of the arc and the line segment

图5 去掉过长和过短及圆弧后剩下的锯齿

Fig.5 Remove too long and too short and the arc after the remaining

(3)计算锯齿每侧的方向和夹角

计算方向较好的方法是利用轮廓线段上所用的点，通过使用前面介绍的线段拟合的算法得到拟合很好的直线。



(a)38.08° (b)41.64° (c)37.38°

图6 计算得到三个角度的锯齿

Fig.6 Calculated from the three angles of the saw tooth

(4)结果分析

以机器视觉库Halcon为软件平台，将以上算法设计成程序并对锯齿的角度做计算。使用F5快捷键或单击软件界面的“运行”按钮执行程序后，可在程序图形界面窗口中依次显示工件锯齿的角度。当前窗口显示的结果是锯齿两侧用红线标记，如图6所示，精度为0.01°。所有已检测的工件锯齿的结果可通过变量窗口的Angles行中依次显示，当前检测的锯齿角度通过Angle行显示，测量单位是弧度，精度为0.000001°，显示结果如图7所示。

(下转第37页)

www.rjgcz.com