

基于视觉的零件尺寸测量*

Size Measurement of Parts Based on Vision Technology

许光明 (杭州开源电脑技术有限公司, 浙江 杭州 310052)

吴 昭 (浙江省公安高速交警总队, 浙江 杭州 310004)

周春兰 (浙江理工大学 信息学院, 浙江 杭州 310000)

沈军民 (浙江理工大学 信息学院, 浙江 杭州 310000)

摘 要

针对在线实时检测和测量工业零件尺寸的问题,利用视觉技术建立一个的零件尺寸测量系统,采用简单高效的霍夫变换和亚像素技术实现对规则零件的非接触精密测量。尺寸测量过程包括图像采集、图像分析处理和结果输出。其核心算法是图像预处理、直线检测、圆检测和尺寸计算,详细介绍了利用霍夫变换进行直线和圆检测的方法。经研究可知,零件测量系统能实现工业零件的在线实时检测和尺寸测量,且具有速度快、实时性好、非接触、低成本等优点,具有良好的应用前景。

关键词:机器视觉,尺寸测量,霍夫变换,亚像素技术,非接触

Abstract

For the problem of online real-time detection and the measurement of industrial components size, this paper makes use of vision technology to build a system of measurement of components size, and uses a simple and efficient technology of Hough transform and sub-pixel to achieve precise and non-contact measurement of parts. The size measurement includes image acquisition, image process and results output, which introduces methods of Hough transform to detect linear and circular in detail. Its core algorithm is image preprocessing, linear detection, circle detection and sizing.

Keywords: machine vision, size measurement, hough transform, sub-pixel technology, non-contact

本文基于现代工业发展需求,利用硬件设备采集具有可靠性的图像,通过软件编程实现零件尺寸的测量。基于视觉的零件尺寸测量技术针对许多人类视觉无法感知的场合,如精确定量感知、危险场景感知等,具有检测速度快、定位要求低、易于实现在线检测等一系列优点^[1]。

1 研究内容

本文主要的研究对象是规则的工业零件,一般由圆形和直线组成。主要研究对于已采集到的零件图像进行分析处理的方法,提取零件的直线边缘和圆区域,并对零件尺寸进行精确测量,实现其实际应用。研究的内容包括:

- 1)对采集的图像进行预处理,去除图像中的阴影等不需要的信息,增强相关信息的可靠性。
- 2)研究提取预处理后图像中零件的边缘轮廓,采用的典型方法有曲线拟合法、亚像素定位法和霍夫变换法。
- 3)改进边缘检测算法,实现快速精确的定位,得到最适合尺寸测量的轮廓检测法。
- 4)研究零件检测中尺寸测量的计算方法。
- 5)对目前尺寸测量的研究成果进行误差分析,研究改进测量精度的方法。

2 图像轮廓检测

在边缘检测技术中,检测精度和速度是衡量一个方法好坏的关键。现有的图像边缘提取方法可分为三大类:一类是基于某种固定的局部运算方法,如:微分法,拟合法等;第二类是以能量最小化为准则的全局提取方法,如神经网络分析法等;第三类是以小波变换、数学形态学等高新技术为代表的边缘提取法^[2]。

2.1 最小二乘法拟合

在物理实验中,经常把离散的测量数据转化为直观的便于研究的曲线方程,即曲线拟合。在曲线拟合中最常见的二次曲线,采用二元正交基函数系列:1, x, y, x², y², xy...进行拟合。最小二乘法在确定各拟合函数系数时,尽管拟合的次数不是很高,但它可使误差较大的测量点对拟合曲线的精度影响较小,且实现简单,便于物理分析和研究,故成为最常用的方法之一^[3]。

最小二乘法拟合曲线中,一般最小二乘法的拟合函数是一元二次,一元多次,也可多元多次。该方法是通过求出数据点到拟合函数的距离和最小的拟合函数进行拟合的方法。令 $f(x) = ax^2 + bx + c$, 计算数据点到该函数所表示的曲线的距离和最小,从而可以得到拟合曲线^[4]。

在尺寸测量过程中,用一元二次方程来拟合曲线时,计算繁琐,误差较大,所以在实际应用中很少使用。

2.2 亚像素边缘检测

传统的边缘检测方法有 Roberts 算子法、Sobel 算子法和 Canny 算子法等,形式简单,易于实现,速度快;但定位精度差,对噪声敏感。

从 20 世纪 70 年代起有专家提出了一些有效的亚像素边缘定位法,如插值法、空间矩法、灰度矩法和一些组合算法等。下面分析其中两种亚像素边缘算法的原理。

1)灰度矩法。灰度矩亚像素边缘检测法是指根据灰度矩不变原理来对图像进行边缘检测,即假设实际图像中边缘分布与理想阶跃边缘模型的灰度矩保持一致^[5]。

首先介绍灰度矩法对一维图像进行边缘检测的原理。图 1

* 浙江省重点科技创新团队计划(2011R50004)资助

为一维理想边缘模型图,它由两个灰度值不同的区域组成,和为边缘两侧的灰度值, k 为阶跃高度。

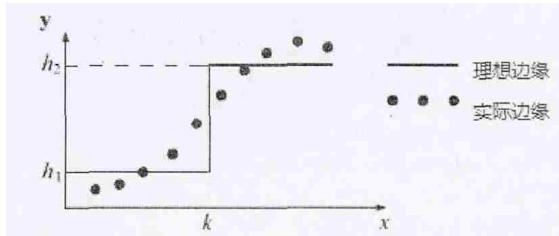


图1 一维理想边缘模型图

设为理想阶跃函数,则一维理想边缘函数可表示为:

$$E_i(x) = (h_1 - h_2)u(x - k) + h_1 \quad (1)$$

设 ω_1 和 ω_2 分别是灰度值为 h_1 和 h_2 的像素点占整个边缘像素点总数的比例,且他们满足:

$$\omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (2)$$

设实际边缘沿 x 方向各点的灰度值用单调序列表示,则此序列 $g_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的前三阶灰度矩为:

$$\bar{m} = \sum_{i=1}^n \omega_i h_i^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i^j, \quad i=1, 2, 3 \quad (3)$$

式中: n 为实际边缘的像素点总数,所以 $\omega = \frac{k}{n}$ 。

通过计算式(1)(2)(3)三个方程,可以得出 ω_1, h_1, h_2 的表达式,最后得到实际图像边缘位置为:

$$k = np_1 - \frac{1}{2} = \frac{n}{2} \sqrt{s/(4+s^2)} + (n-1)/2 \quad (4)$$

而用灰度矩法对二维图像进行边缘检测时,其原理和一维图像检测原理基本相同,而区别是二维图像算法采用45个像素的序列,算子的输出为二维理想阶跃模型,可认为有一系列具有灰度 h_1 与一系列灰度 h_2 的像素相接而成的。其规一化模型可由4个参数决定:边缘位置 ρ 、边缘方向 θ 、边缘两侧的灰度值 h_1 和 h_2 ,即:

$$E(x, y, \rho, \theta) = \begin{cases} h_1, & x \cos \theta + y \sin \theta \leq \rho \\ h_2, & x \cos \theta + y \sin \theta > \rho \end{cases} \quad (5)$$

从而得到边缘位置信息^[6]。使用上述方法,对图2进行边缘检测得到的结果如图3所示。

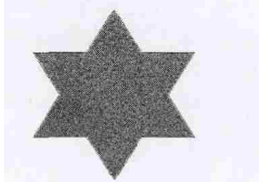


图2 原始图像

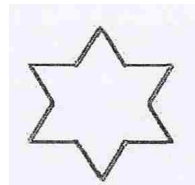


图3 灰度矩法

该算法具有较高的检测精度,并且重复性精度也较高;此外,该方法同样能满足图像目标的实时在线测量要求,这对在工业自动化过程中的高精度测量具有很高的实用价值。

2)Zernike 矩法。Zernike 矩亚像素边缘检测算法的原理是:根据 Zernike 矩的旋转不变性计算出检测边缘所需的4个边缘参数(包括背景灰度值 h 、阶跃高度 k 、圆盘中心到边缘的垂直距离 l 和垂线与 x 轴的夹角 ϕ),实现对边缘的精确定位。使用 Zernike 矩法,对图4进行边缘检测得到的结果如图5所示。

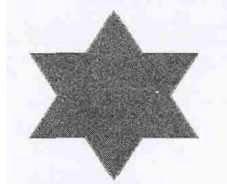


图4 原始图像

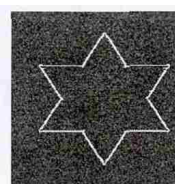


图5 Zernike 矩法

3)分析比较。用上述两种亚像素边缘检测方法,得到检测结果如表1所示。

表1 亚像素边缘检测方法的比较

	灰度矩法	Zernike 矩法
定位精度(像素)	0.16	0.10
检测时间(s)	1.597	1.472

由以上实验结果分析可得,基于 Zernike 矩的亚像素边缘法检测出的边缘精度较高,检测速度快,抗噪声能力强,边缘检测效果较好。但是 Zernike 矩法与传统边缘检测方法相比,虽然提高了边缘检测精度,但是算法复杂,所以延长了检测时间^[7]。

目前研究人员还提出了一种新型的快速亚像素边缘检测方法,用 Sobel 算子和最小二乘曲线拟合法实现亚像素级边缘定位。该算法计算量小,具有较快的速度。这对提高测量精度有很大的帮助。

2.3 圆的霍夫变换(CHT)

在坐标平面上,确定一个圆需要三个参数:圆的半径、圆心的 x 轴坐标和 y 轴坐标,因此圆的 Hough 变换是一个以圆的半径和圆心坐标为参数的三维空间。

1)经典的 Hough 圆检测已知圆的一般方程为:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (6)$$

式中: (a, b) —圆心, r —圆的半径。

如果我们将式(6)的未知数反转, $x-y$ 是常量,而 $a-b-r$ 变作未知数,那么显然式(6)就是一个圆锥的方程。这样,检测 $x-y$ 平面上的圆的问题就转换到检测 $a-b-r$ 参数空间上三维锥面的交点。图像平面的方程转化为参数平面上的示意图如图6所示。

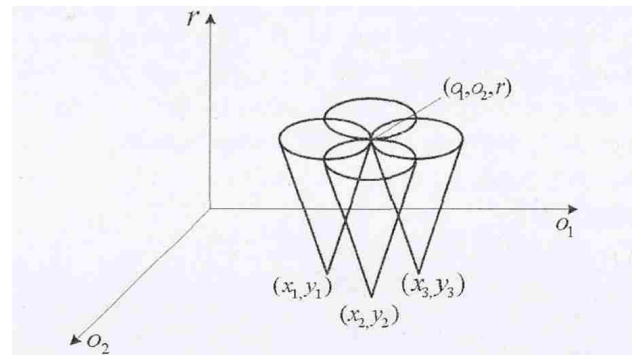


图6 圆的参数空间表示

但是上述方法的算法复杂度太高,假设要检测 100×100 分辨率的小图像,我们至少需要 $100 \times 100 \times 100$ 大小的参数空间。在大噪声和具有复杂图像背景的情况下,大量的无用点也会参与投票,使算法性能大大降低,甚至影响到检测结果^[9]。本文针对检测实时性要求高的特点,提出了一种快速 Hough 圆检测算法,能较好的满足实时性的要求。

2)快速 Hough 圆检测(FHT)新的快速 Hough 变换圆检测方法在 Hough 变换圆检测的基础上进行了改进。首先通过压缩参量空间,进行 Hough 变换,得到粗尺度圆的3个特征值。利用得到的特征值,通过控制参量空间大小,再次进 Hough 变换得到圆检测的精确值。由于全过程通过压缩和适度控制参量空间,大大减少了参量空间,因此减少了计算量,提高了检测速度^[9]。

FHT 和随机 Hough 变换圆检测比较,计算时间最多不到原来的 $1/15$ 。而且,当图像中存在较多干扰像素点时,其计算速度优势明显,具有较强的抗干扰能力,对于机器视觉中的快速实时圆检测具有实际意义。

2.4 改进的霍夫变换圆检测

CHT最大的缺点是计算复杂,资源需求大,我们对其进行了改进,利用圆周上任意两条不平行弦的中垂线相交与圆心的性质,同时选取3个点,将搜索空间从三维减低到一维——我们称之为点 Hough 变换(PHT)。

原理:不同于CHT,PHT充分利用圆的几何性质,将计算过程进行了简化,降低了计算复杂度。另外,在统计时只包括已计算出的交点,而不是整个变量取值范围,提高了效率。在图7中圆C上选取K、L、M3点,分别构成互不重合(不平行)的弦KL和LM。根据圆的几何性质,弦KL的中垂线L1与线段LM的中垂线L2必然相交于圆C的中心O。由三点确定两直线方程,再用中垂线的原理得到各自中垂线的方程,最后两中垂线的交点即圆C的圆心,从而求出半径^[10]。

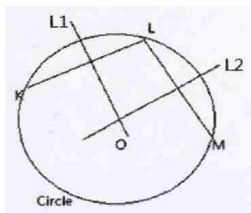


图7 PHT原理图

从上述计算过程可见,PHT无须搜索变量空间,只对选取的点组进行计算,复杂性仅点组数有关。因此,点组的选取是保证PHT性能的重要环节。

PHT过程中点组的选择包括两个方面:点组的数量和组中点间距离。点组数量多会增加计算复杂度,数量太少则会降低检测的稳定性和准确性。这是PHT的一个难题和关键点。

随着噪声点的增加,CHT处理的点增多,处理速度近似比下降,但FHT和PHT的速度与噪声点数无关,PHT处理速度最快。在检测精度上,PHT和其他两种方法具有同样的精度,且检测结果更稳定^[11]。

3 尺寸计算

在尺寸测量中,最后一个步骤就是将软件测量的零件尺寸转化为实际的零件尺寸,我们用的是尺寸标定法。

零件尺寸测量系统中采用了比例标定的方法,即在图像测量系统的工作距离确定之后,对标准零件进行图像采集。对图像进行后续的图像处理,求出标准零件的宽度值。设此标准工业零件的实际测量长度是 a ,在零件尺寸测量系统中得到的测量长度是 A ,而待测零件 M 在此系统中得到的测量长度是 I ,则零件 A 的实际长度为 a 。为了对系统进行精确标定,可以用相机对标准件进行多次标定,然后求其均值作为最终的标定系数^[12]。

这种标定方法标定精度高、标定过程简单、成本低、易实现。而且使用的标定物为与待测零件特性一致,保证了被测零件上各位置的光学参数与标定得到的参数相一致。

4 误差分析

影响系统测量精度的因素有很多种,通过实际分析,主要有成像系统的误差、标定误差和软件算法误差等。

1)成像系统的误差。CCD的分辨率是测量系统中的一项重要指标,使用的CCD摄像机分辨率越高,图像的物面分辨率就越高,即可使得系统检测精度越高。选用高质量的镜头和进行镜头畸变校正可提高检测精度。

2)标定误差。系统在标定过程中会引入误差。通过对标准件在摄像机视场内进行多次测量,然后求其均值作为最终的标定系数,这样既可消除镜头畸变引起的误差又可去掉标定过程引入的随机误差。

3)软件算法误差。不同的图像处理和手段以及不同的检测方法和计算公式,都会带来不同的误差。算法本身也会存在一定的误差,不同的边缘检测算法会带来不同的误差,所以选择合适的边缘检测算法很关键。

5 结束语

本文研究的方法可以广泛用于长方体或圆形零件的尺寸测量,可以实现圆形零件的非接触、高精度检测,能提高测量的智能化和生产的自动化程度。

参考文献

- [1]刘霞.工业零件形状尺寸的机器视觉检测系统的研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2009
- [2]郭斌.计算机视觉尺寸检测中物体边缘精确参数提取方法研究与应用[D].广州:广东工业大学,2011
- [3]艾海舟,苏延超,等.图像处理、分析与机器视觉[M].北京:清华大学出版社,2011
- [4]裴翔,张瑞林.最小二乘法在曲线拟合中的实现[J].陕西工学院学报,2000(3)
- [5]罗钧,侯艳,付丽.一种改进的灰度矩亚像素边缘检测算法[J].重庆大学学报,2008,5(5)
- [6]杨敏华.灰度矩边缘精确定位法的测量应用探讨[J].大庆师范学院学报,2006,10(5)
- [7]魏本征,赵志敏,华晋.基于改进形态学梯度和Zernike矩的亚像素边缘检测方法[J].仪器仪表学报,2010,4(4)
- [8]张国云.计算机视觉与图像识别[M].北京:科学出版社,2012.04
- [9]滕今朝,邱杰.利用Hough变换实现直线的快速精确检测[J].中国图象图形学报,2008.02(02)
- [10]王健,王孝通,徐晓刚,等.基于梯度的随机Hough快速圆检测方法[J].计算机应用研究,2006(8)
- [11]郭超,马麟.基于机器视觉的尺寸测量方法研究[D].太原:太原理工大学,2012(1)
- [12]周薇.基于机器视觉的摄像机标定方法研究[J].电子元器件应用,2008(11)

[收稿日期:2014.12.23]

(上接第110页)

参考文献

- [1]Qian N, Sejnowski T J. Predicting the secondary structure of globular proteins using neural network models [J]. Journal of molecular biology, 1988, 202(4): 865-884
- [2]Cuff J A, Barton G J. Evaluation and improvement of multiple sequence methods for protein secondary structure prediction[J]. Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics, 1999, 34(4): 508-519
- [3]Liu T, Zheng X, Wang J. Prediction of protein structural class using a complexity-based distance measure[J]. Amino acids, 2010, 38(3): 721-728
- [4]Randic M, Zupan J, Novic M. On 3-D graphical representa-

tion of proteomics maps and their numerical characterization [J]. Journal of chemical information and computer sciences, 2001, 41(5): 1339-1344

- [5]Chang C C, Lin C J. LIBSVM: a library for support vector machines [J]. ACM Transactions on intelligent systems and technology (TIST), 2011, 2(3): 27
- [6]Suykens J A K, Vandewalle J. Least squares support vector machine classifiers[J]. Neural processing letters, 1999, 9(3): 293-300
- [7]Wang L, Liu J, Li Y, et al. Predicting protein secondary structure by a support vector machine based on a new coding scheme[J]. Genome informatics series, 2004, 15(2): 181

[收稿日期:2014.12.9]