

文章编号: 2095-2163(2021)02-0141-04

中图分类号: V262.7; TP391.7

文献标志码: A

基于机器视觉的精密钻孔法向检测算法研究

张友朋, 茅 健

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要:目前在自动化检测领域, 机器视觉检测技术开始广泛地应用, 这种技术的特征表现为高精度、非接触、适用性强、操作方便。在智能制造需求的促进作用下, 很多工业生产中开始应用到机器视觉技术。本文对精密钻孔法向检测进行研究, 根据检测要求而选择合适的检测方法。首选用 Canny 边缘检测算法, 但是在实际的应用中这种算子会引入很多非目标轮廓线, 而对法向检测产生不良影响。为应对这种缺陷而结合了小波图像分割算法, 且据此建立起改进的 Canny 边缘检测算法。根据实证分析结果表明, 在精密钻孔法向检测过程中, 这种改进算法可很好地满足应用要求。

关键词: 图像分割; Canny 边缘检测算法; 机器视觉

Research on algorithm of precision drilling normal detection based on machine vision

ZHANG Youpeng, MAO Jian

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] At present, in the field of automated inspection, machine vision inspection technology has begun to be widely used. The characteristics of this technology are high precision, non-contact, strong applicability, and convenient operation. Driven by the demand for intelligent manufacturing, machine vision technology has begun to be applied in many industrial productions. In this paper, the precision drilling normal detection is studied, and the appropriate detection method is selected according to the detection requirements. The Canny edge detection algorithm is the first choice, but in practical applications this operator will introduce many non-target contours, which will have an adverse effect on normal detection. In order to deal with this defect, the wavelet image segmentation algorithm is combined, and an improved Canny edge detection algorithm is established accordingly. According to the empirical analysis results, this improved algorithm can meet the application requirements well in the process of precision drilling normal detection.

[Key words] image segmentation; Canny edge detection algorithm; machine vision

0 引言

机器视觉检测技术的核心在于图像处理及算法部分, 传感器等硬件作为整个框架中的基础性设备, 随着制造业水平的不断提升, 测量水平也应与其保持同步, 为了适应更高标准的精度要求, 可以通过改进算法部分来获得更优化的测量精度, 而不需要升级整个硬件框架, 这也使其具有了很好的适应能力和较高的性价比而不会被淘汰^[1]。随着“工业 4.0”的进一步实施以及国内对于高速智能工业信息化发展的关注与重视, 研究进一步提高了视觉检测的效率和精度, 对于促进高速智能工业视觉检测的关键技术理论基础探索和技术创新及有效满足当前国内高速智能装备制造业视觉检测市场的迫切应用需求皆具有十分重要的研究意义。

Canny 算子^[2]中含有最优化思想, 其特征表现

为检测精度和信噪比高, 因而在当下众多的机器检测领域得到广泛应用^[3]。Canny 算子是改进边缘检测方法而形成的, 在边缘检测方面有明显的优势, 当检测时需依据特定准则进行边缘提取。通常情况下, 图像分割被认为是任何尝试自动分析或解释图像的第一阶段, 弥补了低级图像处理和高级图像处理间的差距, 低/中级图像处理算法研究均旨在达到使输入图像更易于由高级图像处理算法来进行加工变换的目的。小波图像分割方法可有效地满足图像分割要求^[4]。该算法是一种数学图像分析工具, 自 2002 年以来已得到了大范围的使用, 有着良好的图像局部化性质解析功能^[5]。小波变换算法的特征表现为可以在各尺度下, 对信号和图像特异性进行分析, 因此在二进图像投影处理和直方图分析等诸多方面都取得了可观成果^[6]。图像分割尺寸一般是基于相应的直方图控制。在分割操作时确定出粗

作者简介: 张友朋(1996-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 视觉检测; 茅 健(1972-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 精密检测与装备自动化。

收稿日期: 2020-09-24

哈尔滨工业大学主办 ◆ 科技创新与应用

略的直方图投影后的直方图系数,在发现分割结果不满足要求情况下,则可通过二进小波直方图系数不断的细化,一直到满足要求为止。处理所得结果主要受到图像分割尺寸因素的影响^[7]。

本文在进行图像分割处理时,应用了小波图像分割算法,通过将目标图像划分为一定量独立区域,由此发现该种分割能够很好地避免 Canny 检测算法在处理时引入非目标轮廓线与点的问题,符合本次课题研究的应用要求。因而将其和 Canny 边缘检测算法结合起来,实现了 Canny 检测算法优化。对此拟展开研究论述如下。

1 Canny 边缘检测算法检测精密钻孔法向

边缘检测区域是反映图像上数据灰度变化的主要检测区域,数据灰度变化的常规数学检测手段就是可以采用边缘检测微分的算子。对比分析发现对受高斯噪声影响的边缘检测而言,Canny 微分算子有明显的优势,可很好满足边缘检测要求^[8]。Canny 边缘检测算法可以分为以下 5 个步骤:

- (1) 通过高斯滤波器进行一定平滑去噪预处理。
- (2) 计算确定出覆盖的全部像素点的梯度信息。
- (3) 利用非极大值抑制方法处理,将引入的杂散响应去除掉。
- (4) 通过双阈值方法确定出所需边缘。
- (5) 对孤立的弱边缘去除,实现检测目标。

综上所述,在进行实验研究时,选择精密钻孔为对象,钻孔样例见图 1。



图1 精密钻孔

Fig. 1 Precision drilling

对图 1 的钻孔通过 Canny 边缘检测算法进行检测分析时,很容易带来许多非目标点与线,而影响了检测结果,具体情况如图 2 所示。为避免这种问题,本次研究中对 Canny 边缘检测算法进行适当的优化

改进,在其中融合了小波变换图像分割算法。

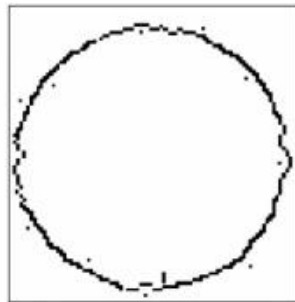


图2 Canny 边缘细节

Fig. 2 Canny edge details

2 算法融合

小波变换的二进图像分割过程中主要进行一定形式的小波变换。过程中,先要对起始图像的直方图系数进行相关分解处理,并转换为各尺度二进小波直方图系数,接着依据相应设定的阈值分割规则和小波系数进行对比,而确定出满足要求的分割门限,最后由直方图利用给定的阈值分割门限标识出整个图像所需要分割的区域^[9]。这里对此将给出阐释分述如下。

2.1 图像直方图分辨率分析原理

对于每个整数 $j \in Z$ (Z 为整数集合),可得:

$$d_j = \left\{ \frac{k}{2^j}; k \in Z \right\}, \quad (1)$$

其中,对任意的 $j \in Z$, d_j 对应相应的采样点集合,如果 $i < j$,则 d_i 对应于粗采样点;相反则对应着细采样点。若 $f(x, y)$ 为图像, G_m 是其上的最大灰度,这种情况下可通过如下表达式描述直方图,即:

$$h_f = |\{ (x, y) : f(x, y) = k \}|; k \in [0, G_m], \quad (2)$$

其中, $h_f(k)$ 是离散函数。令 $h_f(x) = h_f(k)$, $x \in [k, k+1]$, 离散函数 $h_f(k)$ 表示为连续函数 $h_f(x)$, 而 $h_f(x)$ 可以看作由几个分段函数组成。对于 $j \in Z$, h_f 基于 $\{d_j\}$ 采样处理,则 h_f^j 为相应的直方图,可通过 Haar 尺度函数变换对其进行描述,对此可写为:

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 10, \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad (3)$$

$$h_f^j(x) = \sum_{n \in Z} h_f(2^{-j}n) \varphi(2^j x - n), \quad (4)$$

函数 $h_f(x)$ 包含一定量分段函数,因而突变特征很明显,在研究时应该进行适当的滤波平滑来去除其中的高频噪音。多层表达曲线 $h_f(x)$ 可以表示为:

$$h_f(x) = \sum_{k \in Z} a_k \varphi_{j,k} \{a_k\} = \langle h_f, \varphi_{j,k} \rangle. \quad (5)$$

2.2 小波阈值分割算法

图像的直方图曲线可通过以上的表达式分解,基于分解系 $\{a_k\}$,按次序确定出相应分割阈值。执行步骤可总述如下:

Step 1 设置目标分割区域为 M , 分解级数 $j = -\log_2 G_m$ 。

Step 2 j 级二进小波分解处理曲线 $h_f(x)$, 对应的表达式为:

$$\{a_k\}_j = \{ \langle h_f, \varphi_{j,k} \rangle \mid k \in Z \}. \quad (6)$$

Step 3 从 $\{a_k\}_j$ 中,对比分析后可确定出满足条件 $a_{l-1} > a_l$ 和 $a_l < a_{l+1}$ 的标号 l ,对阈值进行更新,统计出标号为 l 的数量 n 。

Step 4 若 $n \leq M$,则 $j=j+1$,当 $j < 0$ 时,转向 Step 2;如果 $n > M$,合并临近的灰度阈值,对灰度阈值数组进行更新操作,使 $n = M, j=j+1$,在判断发现 $j < 0$ 条件下,转到 Step 2。

Step 5 对比各像素值与灰度值,从而实现图像分割。

2.3 小波变换图像分割 Canny 边缘检测算法

基于前文分析论述的2种算法的优缺点和适用性可知,为更好地满足图像检测要求,本文将二者相结合,提出基于小波变换图像分割的 Canny 边缘检测算法。该算法可以看作是 Canny 边缘检测算法进行优化而形成的,并同时具有这2种算法的优势,如在时频域的图像局部化分析性能良好,而且也可很好地满足实时性和边缘检测性能要求。在实际应用过程中,该算法先会通过小波变换图像分割算法对目标图像做适当的分割处理,确定出图像各区域的性质,获得已处理图像。接着对已处理图片通过 Canny 边缘检测算法进行检测分析,算法的设计处理流程如图3所示。

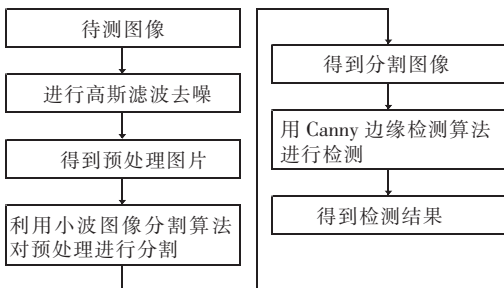


图3 算法流程图

Fig. 3 Algorithm flow chart

3 实验与分析

3.1 实验目的及实验对象

检测小波变换图像分割 Canny 边缘检测算法能

否去掉非目标轮廓线和边缘噪点,并且可以应用到精密钻孔法向检测中。本文实验对象为精密钻孔,见图4。

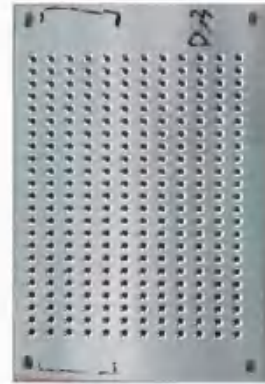


图4 精密钻孔

Fig. 4 Precision drilling

3.2 实验平台搭建

基于机器视觉的精密钻孔检测系统的结构示意图如图5所示。由图5可知,在线检测系统由一台面阵 CCD 工业相机、照明装置、计算机等组成,精密钻孔法向检测系统基于机器视觉技术,利用目标检测框架进行精密钻孔法向检测。视觉检测系统的参考视像见图6。



图5 自动钻孔系统

Fig. 5 Automated drilling system



图6 视觉检测系统

Fig. 6 Vision inspecting system

3.3 系统软件设计

本文基于 Open GL 虚拟成像系统进行设计,在

应用过程中就可以在显示屏上绘制出三维场景的二维图像,因而有明显的优势。在进行投影时可选择不同的模型,主要包括透视、正交投影模型等,每种模型都有各自的适用性,可灵活地进行选择。在经过对比分析后可知,第一种模型和视觉检测中的相机成像模型基本上一致,在处理时关联起 Open GL 参数和采集的图像内外参数,就可以在此系统中进行相机成像的模拟研究。本文在采集目标零件上导孔的成像时,根据应用要求来选择透视投影模型。

3.4 钻孔质量评价

将获得的导孔理论图像与实际成像叠加效果,得到待测导孔的加工精度评价结果,使用理论与实际的孔心位置偏差进行对比得到公式为:

$$D = \| d_1 - d_2 \| . \quad (7)$$

其中, d_1 表示理论孔心位置, d_2 表示实际孔心位置。

3.5 实验结果分析

研究中,先通过对比优化前和优化后的图片,优化后的图片如图 7 所示,对比可知,优化后的 Canny 边缘检测算法即可有效地除去相关干扰的轮廓线和点。研究得到的检测图片如图 8 所示。

基于此,再对比精密钻孔的真实值和视觉检测值,选择 20 个值,精密钻孔法向的真实值由三坐标检测仪测得,精密钻孔的真实值和视觉检测值见表 1。分析对比后可知,该视觉检测算法平均误差小于 0.08 mm,满足检测要求。

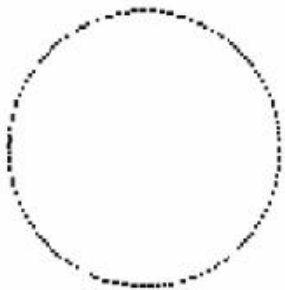


图 7 优化后细节图的检测结果

Fig. 7 Inspection results of the optimized detail map

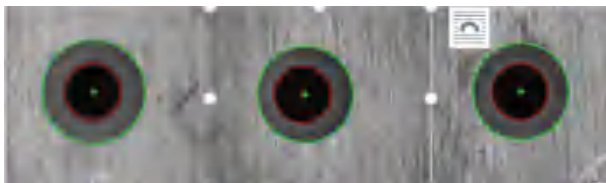


图 8 检测图片

Fig. 8 Detection picture

表 1 精密钻孔的真实值和视觉检测值

Tab. 1 The true value and visual inspection value of precision drilling

| 数值 | 孔心位置偏差 | |
|-----|--------|---------|
| | 视觉检测偏差 | 三坐标检测偏差 |
| 最大值 | 0.051 | 0.113 |
| 最小值 | 0.032 | 0.007 |
| 平均值 | 0.038 | 0.046 |

4 结束语

本文对机器检测问题进行研究。论述了 Canny 边缘检测算法的特征和应用局限性,对此原因分析后引入了小波变换分割算法,通过 Canny 边缘检测算法来检测精密钻孔存在的问题,得到优化解。提出的新算法可以成功应用在精密钻孔法向检测上。

参考文献

- [1] 高晟丽. 基于机器视觉的工件检测技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2006.
- [2] CANNY A. Computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [3] 张斌, 贺赛先. 基于 Canny 算子的边缘提取改善方法[J]. 红外技术, 2006, 28(3): 165-169.
- [4] 赵建伟, 王朋, 刘重庆. 基于小波变换的分水岭图像分割方法[J]. 光子学报, 2003, 32(5): 601-604.
- [5] 范虹, 张程程, 侯存存, 等. 结合双树复小波变换和改进密度峰值快速搜索聚类的乳腺 MR 图像分割[J]. 电子学报, 2019, 47(10): 2149-2157.
- [6] 同武勤, 凌永顺, 黄超超, 等. 数学形态学和小波变换的红外图像处理方法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(1): 138-144.
- [7] 蔡振江, 王渝, 张娟. 基于离散平稳小波变换和 FCM 的纹理图像分割[J]. 计算机工程, 2005, 31(15): 142-143, 150.
- [8] 林卉, 赵长胜, 舒宁. 基于 Canny 算子的边缘检测及评价[J]. 黑龙江工程学院学报, 2003, 17(2): 3-6, 16.
- [9] 雷良育, 周晓军, 潘明清. 基于机器视觉的轴承内外径尺寸检测系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 131-134.