

# 基于图像处理的刀具角度测量系统

裘江平, 鲍 敏\*

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 针对加工过程中刀具磨损会影响零件加工精度的问题, 利用图像处理技术实现了刀具角度的测量, 以达到对刀具磨损情况进行动态跟踪的目的。以 Matlab 软件作为图像处理平台, 通过图像灰度转换、二值化、边缘提取等技术手段, 获得了刀具边缘轮廓, 进一步用最小二乘法将轮廓拟合, 最终求出了刀具角度。实验结果表明, 该方法能较好地测量刀具角度, 也可用于刀具几何参数的测试。

**关键词:** 图像处理; 边缘提取; 刀具角度

中图分类号: TH13; TG71

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)06-0032-04

## Tool angel measuring system based on image processing

QIU Jiang-ping, BAO Min

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the cutting tool's wear having impact on workpiece quality in the process of machining, image processing technology was adopted to measure the tool angel and realize the dynamic tracking of tool's wear condition. Based on Matlab image processing toolbox, the technology of gray level conversion, binary conversion and edge extraction was used to extract tool's features, then the method of least square was applied for edge fitting, and finally the angle of cutting tool was measured. Experimental results show that this method is able to get the tool angle effectively, and it can also be used to measure the tool geometric parameters.

**Key words:** image processing; edge extraction; tool angle

## 0 引 言

随着工业生产自动化程度的提高, 为使零件加工质量得到保证, 刀具磨损量就要得到很好地自动测量与控制。刀具磨损受材料(刀具自身材料和加工零件材料)、工作环境、机床、人为干预等因素的影响, 磨损量过大会造成零件加工质量的下降甚至报废。因此, 加工过程中需要由系统对刀具的磨损情况进行自动判断并且及时换刀, 以确保零件的加工精度。

判断刀具磨损情况的方法有很多, 根据零件的加工特征(零件的形状位置精度、表面纹理<sup>[1-2]</sup>、粗糙度等)来判断刀具磨损情况, 这种方法需要人直接参与测量过程, 未能实现刀具状态的实时在线测量; 应用影像测量法对刀具角度进行测量, 进而判别刀具磨损情

况, 这种方法的测量结果容易带来主观误差。采用基于图像处理的测量技术, 可实现对测量对象的实时、在线、非接触测量, 克服了人为误差<sup>[3]</sup>。

本研究主要探讨了基于图像处理的车刀角度测量技术, 以 Matlab 作为处理平台, 借助图像灰度转换、二值化处理、轮廓生成、边缘提取等技术手段来获取车刀边缘轮廓, 进一步用最小二乘法将轮廓拟合, 获得测量车刀角度的关键参数, 最终求出车刀角度。此方法具有非接触式在线测量、高速度、刀具几何信息丰富等诸多优点。

## 1 系统总体方案

系统实验装置如图 1 所示。主要由 CCD 摄像头、图像采集电路、PC 机 3 个部分组成。摄像头采用东芝

公司生产的 TCD132D 线阵 CCD,其内部包含驱动电路及信号前放,易于驱动而且信号处理也非常简单,在应用中十分方便可靠;图像采集电路以 80C51 单片机为核心,将摄像头获得的图像进行部分处理并输入到 PC 机;PC 机主要完成软件层工作,包括图像采集、图像处理、图像测量 3 个模块。

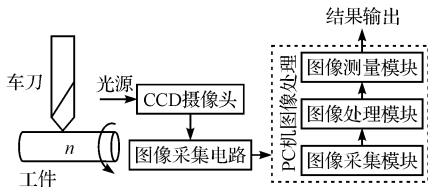


图1 车刀角度测量实验装置

系统硬件电路框图如图 2 所示。首先由单片机驱动 CCD 芯片,输出的 CCD 信号经过信号处理电路及二值化处理电路,将模拟信号转化成数字信号,然后将此信号送入单片机,通过数据存储器保存图像信息,读完一幅图像,经串口通信(RS232 通信协议)将图像信息传至计算机,最后由计算机系统的前面板操作,实现车刀角度的自动测量,结果由显示器输出。

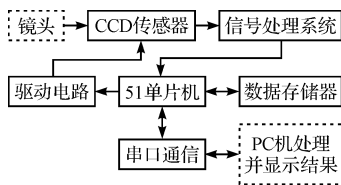


图2 系统硬件电路框图

硬件电路由线阵 CCD 驱动系统、图像采集系统、信号处理系统、数据存储器扩展系统和通信系统组成。各组成部分功能如下:

(1) CCD 驱动系统。CCD 必须在合适脉冲的驱动下才能正常工作,考虑到单片机是硬件电路的核心元件,拥有丰富的硬件与软件资源,本研究利用单片机的 P1 口来驱动 CCD 传感器。P1.0 口经 74HC04 反相器,一路驱动  $\Phi_M$ , 获得  $\Phi_M$  脉冲信号;另一路经过 4 分频电路驱动  $\Phi_{CCD}$ , 获得  $\Phi_{CCD}$  脉冲信号。同时 P1.1 口经过 74HC04 反相器驱动  $\Phi_{SH}$ , 获得  $\Phi_{SH}$  脉冲信号,从而得到 CCD 的 3 路输入脉冲信号。

(2) 图像采集系统。CCD 图像传感器是图像采集系统的核心部件,本研究采用型号为 TCD132D 的线阵 CCD 芯片来接收光信号,并将光信号转换成电信号,即 CCD 模拟图像信号。

(3) 信号处理系统。本研究采用的信号处理电路包括:LM393 运放作为电压跟随器、LM358 构成的两级反比例运算放大电路、LM339 构成滞回比较电路,对 CCD 输出信号进行二值化处理。滞回比较电路

引入了正反馈,具有一定的抗干扰能力,能有效地将 CCD 信号中车刀的位置参数与背景分离成二值电平<sup>[4]</sup>。

(4) 数据存储器扩展系统。CCD 输出的信号经过处理后,图像信息由模拟图像转换成了数字图像。由于图像采集系统的信息量比较大,单片机片内数据存储器已不够用,单片机数据存储器需要扩展。本研究采用全译码法来扩展单片机数据存储器,单片机通过 74138 译码器为 4 片 6264 数据存储器分配惟一的地址空间,用来缓存采集到的图像数据。

(5) 通信系统。通过串口通信,单片机将保存在 6264 RAM 中的车刀图像上传给 PC 机。在 PC 机上,利用 Matlab 图像处理工具箱提供的函数,完成图像的灰度转换、二值化处理、边缘提取以及车刀角度的测量。

## 2 图像处理

### 2.1 图像灰度转换

进行灰度转换的目的是为了实现图像的增强。灰度转换主要针对独立的像素点进行处理,可对原始图像中的光照不均进行补偿,使得待识别图像遵循同一或相似的灰度分布,在视觉上得到良好的改变。

本研究采用灰度均值方差标准算法。该算法是将图像的灰度均值和方差调整到给定值,可以统一图像的亮度和对比度,实现灰度归一。具体做法如下:令大小为  $W \times H$  像素的图像的灰度分布矩阵为  $I = [x, y]$ ,  $0 < x < W - 1, 0 < y < H - 1$ , 则该图像的灰度均值和方差分别为:

$$\begin{cases} \bar{\mu} = \frac{1}{W \cdot H} \sum_{y=0}^{H-1} \sum_{x=0}^{W-1} f(x, y) \\ \overline{\sigma^2} = \frac{1}{W \cdot H} \sum_{y=0}^{H-1} \sum_{x=0}^{W-1} (f(x, y) - \bar{\mu})^2 \end{cases} \quad (1)$$

为了将图像的灰度均值和方差调整到给定的值  $\mu_0$  和  $\sigma_0$  ( $\mu_0$  和  $\sigma_0$  可来源于标准图像), 对每个像素点灰度值进行如下变换:

$$f'(x, y) = \frac{\sigma_0}{\sigma} (f(x, y) - \bar{\mu}) + \mu_0 \quad (2)$$

### 2.2 图像二值化

图像二值化处理是将灰度图像变换成 0, 1 取值的二值图像过程。它设定一个阈值,当点的灰度值大于阈值时,将该点设为 1,灰度值小于阈值时将该点设为 0。这样就将整幅图像转化为由 0 和 1 组成的二值图像。即:

$$g(x,y) = \begin{cases} 0, & f(x,y) < T \\ 255, & f(x,y) \geq T \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $T$  为阈值。因此, 选择一个合适的阈值, 对图像二值化处理尤为重要。

本研究采用直方图法进行图像二值化处理。首先扫描图像所有像素点统计相应灰度值的像素点个数, 再根据灰度直方图中不同灰度值像素点个数多少以及相邻灰度值的像素点个数的变化情况, 找到图像二值化阈值  $T$ , 最后将阈值  $T$  代入公式(3), 以完成图像的二值化。经过处理后的车刀源图像、灰度图像、二值化图像如图 3 所示。

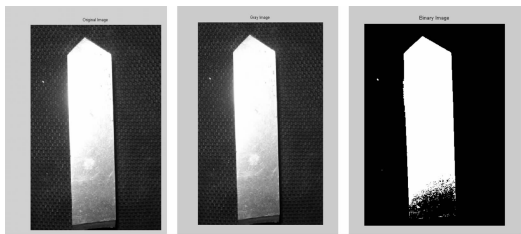


图 3 车刀灰度转换、二值化图像

### 2.3 图像的边缘检测

图像中灰度值或色彩急剧变化之处, 即为物体的边缘。在灰度值变化比较剧烈之处进行微分运算, 就可以得出区别于其他处的较大数值。因此, 可以利用各种微分运算进行边缘检测。

图像边缘检测算子有很多种, 每种算子都有其优点和缺点, 具体选用何种算子要根据实际情况和需要进行具体分析。本研究通过对图像处理效果的比较, 最终确定采用 LoG 边缘检测算子。

该算子先用高斯算子对图像进行平滑以降低噪声, 然后采用拉普拉斯算子的二阶微分零交叉点来检测图像边缘<sup>[5-6]</sup>。LoG 算子对图像  $f(x,y)$  进行边缘检测, 输出图像  $h(x,y)$  是通过卷积运算得到的, 即:

$$h(x,y) = \left[ \left( \frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right) e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \right] \times f(x,y) \quad (4)$$

本研究使用 3 种不同的边缘检测算子进行了车刀边缘检测实验, 处理后的车刀边缘提取图像如图 4 所示。可以看出, Roberts 算子边缘的连续性较差; Sobel 算子存在边界断裂不连续的现象; LoG 算子检测到的边缘不仅连续性好, 而且轮廓清晰可见, 便于图像的后续处理。在本工作情况下 LoG 算子的边缘检测相对较好。

### 3 边缘直线拟合

从车刀边缘提取图像中可以看出, 车刀边缘直线的连续性较差, 若直接计算车刀角度会有较大误差。

为了保证车刀角度测量的精度, 需要对车刀边缘直线进行线性拟合。本研究采用最小二乘法<sup>[7-9]</sup>拟合车刀边缘直线。最小二乘法考虑的是已知数据点到拟合函数的距离平方和为最小。直线拟合时为一次多项式(直线方程)。通过最小二乘法可以将车刀边缘不连续的直线拟合成为便于分析的直线。

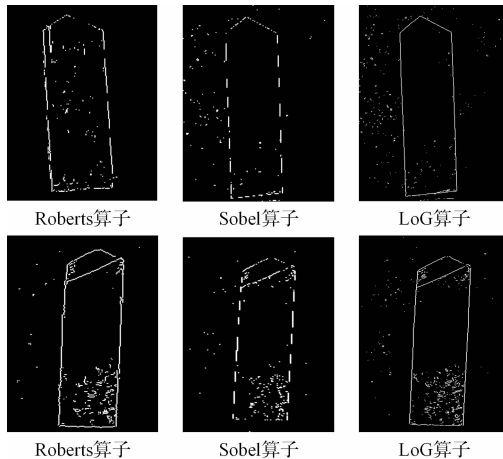


图 4 车刀边缘提取图像

### 4 实验与分析

本研究的车刀角度测量原理图如图 5 所示。通过对车刀边缘直线的拟合, 车刀边缘轮廓近似于一个封闭的五边形, 这将有利益于车刀角度参数以及车刀角度值的测量。

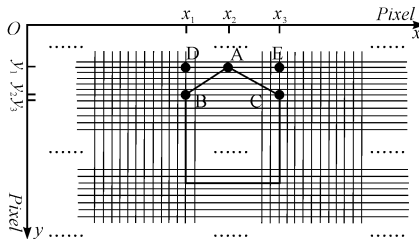


图 5 车刀角度测量原理图

设点 A、B、C 在图 5 中的坐标值分别为  $A(x_1, y_1)$ ,  $B(x_2, y_2)$ ,  $C(x_3, y_3)$ , 设  $\angle BAC = \theta$ ,  $\angle BAD = \theta_1$ ,  $\angle CAE = \theta_2$ , 其中坐标值为对应点在这幅图像中的像素点位置,  $x_1 - x_2$  为两点在横轴上的像素点之差,  $y_1 - y_2$  为两点在纵轴上的像素点之差。根据下式:

$$\begin{cases} AD = x_1 - x_2, BD = y_2 - y_1 \\ AE = x_3 - x_1, CE = y_3 - y_1 \\ \tan \theta_1 = \frac{BD}{AD}, \tan \theta_2 = \frac{CE}{AE} \\ \theta + \theta_1 + \theta_2 = \pi \end{cases} \quad (5)$$

可以得到车刀的角度值为:

(下转第 39 页)

## 6 结束语

笔者研制了谐振式超磁致伸缩音频驱动器,讨论了谐振式驱动器的设计过程,包括音叉选择、线圈设计、磁路设计等具体计算过程。测试结果表明,音叉的引入确实提高了超磁致伸缩驱动器的输出幅度,达到了提升音响的效果。由于时间及各项条件的限制,在多点分布式谐振补偿方面的探索,有待进一步研究解决。

### 参考文献(References):

- [1] CLAEYSSSEN F, LHERMET N, LETTY R L, et al. Actuators, transducers and motors based on giant magnetostrictive materials[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 1997, 25(8):61-73.
- [2] 王博文,闫荣格. 稀土超磁致伸缩材料、应用和器件[J].

- 河北工业大学学报,2004,33(2):16-22.
- [3] 邵忍平. 机械系统动力学[M]. 北京:机械工业出版社, 2005:150-176.
- [4] 冯秉铨. 电声学基础[M]. 北京:高等教育出版社,1957: 130-144.
- [5] VRANISH J M, NAIK D P, RESTORFF J B, et al. Magnetostrictive direct drive rotary motor development[J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 1991, 27(6): 5355-5357.
- [6] 郭义杰,刘楚晖. 超磁致伸缩驱动器设计准则的建立[J]. 工程设计学报,2004,11(4):187-191.
- [7] 贾振元,郭东明. 超磁致伸缩材料微位移执行器原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [8] 杨斌堂,陶华,PRELLE C,等. 磁致伸缩微小驱动器驱动电磁线圈的设计研究[J]. 机械科学与技术,2004,23(8):982-985.

[编辑:张翔]

(上接第34页)

$$\theta = \pi - \arctan \theta_1 - \arctan \theta_2 = \pi - \arctan \frac{BD}{AD} - \arctan \frac{CE}{AE} = \pi - \arctan \frac{y_2 - y_1}{x_1 - x_2} - \arctan \frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1} \quad (6)$$

基于以上测量公式,可测得车刀角度的最佳估计值。实验结果如表1所示(其中的角度参考值通过附加实验机构测得)。

表1 车刀角度实验数据

车刀名	车刀一	车刀二	车刀三	车刀四
角度测量值/deg	106.28	104.08	109.78	108.46
角度参考值/deg	105.42	103.26	108.91	107.68
角度误差值/deg	0.86	0.82	0.87	0.78

从表1可以看出,本研究采用的车刀角度测量方法能将角度误差值控制在 $1^\circ$ 范围之内,能较好地测量车刀的角度值。因此,本研究适用于零件自动加工场合<sup>[10]</sup>,根据测得的车刀角度,可以自动判断刀具的磨损情况并及时换刀,从而避免零件加工质量的下降以及其他损失。

## 5 结束语

本研究提出了一种基于图像处理的车刀角度测量系统。实验证明,采用本研究所提方法测量车刀角度是可行的,且本研究提出的方法在图像数据不大、图像处理实时性要求不高的场合比较适合。随着实时图像

处理的发展趋势,工业上对图像处理的要求越来越高。因此,本设计方案还可以作进一步的改进,如采用更高分辨率的CCD相机,选择运算速度更快的器件等,从而更好地提高测量精度。

### 参考文献(References):

- [1] 郑秀莲,徐振浩,张利. 基于纹理的刀具状态检测技术[J]. 机电工程,2009,26(8):27-29.
- [2] 任翀,侯学元,韩淑华. 高速铣削铣刀切削受力的有限元分析[J]. 机电工程技术,2008,37(6):20-22.
- [3] 陈颖,张伟,李志伟,等. 基于图像处理的直线刀具角度测量[J]. 工具技术,2007,41(5):86-88.
- [4] 张国雄. 测控电路[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [5] DELLECKER R. Boundary scan bursts into the modern production facility[J]. *IEEE Aerospace and Electronics Systems*, 2001(6):21-22.
- [6] 曾欢,王浩. 图像边缘检测算法的性能比较与分析[J]. 现代电子技术,2006,29(1):255-258.
- [7] 邱英. Matlab在线性参数最小二乘法处理中的应用[J]. 科技广场,2007,15(5):165-166.
- [8] 李建跃,杨丰. 螺旋锥齿轮齿面接触区边缘提取算法研究[J]. 机械,2007,34(1):57-59.
- [9] 严慧敏,何炳蔚. 机械零件二维几何尺寸和形状检测系统研究与开发[J]. 机械,2008,35(10):70-72.
- [10] PAULI J. Learning to Recognize and Grasp Objects[M]. Kluwer Academic Publishers, 1998.

[编辑:张翔]