

CCD图像的轮廓特征点提取算法

侯学智, 杨平, 赵云松

(电子科技大学机械电子工程学院 成都 610054)

【摘要】采用最大方差法将图像二值化,用图像形态学的梯度、细化和修剪算法来提取边缘轮廓,利用十一点曲率法得到轮廓的角点和切点的大致位置。提出了一种基于最小二乘拟合的改进算法,来进一步确定角点和切点,并对轮廓分段识别。该算法应用在基于图像处理的刀具测量系统中,实际结果表明具有良好的抗噪声性能,能准确提取出图像的特征点。

关键词 刀具测量; 细化; 曲率; 最小二乘拟合; 角点

中图分类号 TP391 文献标识码 A

Contour Feature Point Detection Algorithm of CCD Image

Hou Xuezhi, Yang Ping, Zhao Yunsong

(School of Mechatronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The image is segmented to Bi-value image with max variance algorithm, and then the edge is detected by a series of image morphology algorithm including grads, thinning and cutting. The eleven point curvature-computing method is used to locate the area of corner and point of tangency. An improved algorithm based on least square fitting is given to search corner and point of tangency. This algorithm is applied to the cutting tools measurement system based on image processing and the actual result proves it has a good noise-resisted performance and can detect feature points accurately.

Key words cutting tools measurement; thinning; curvature; least square fitting; corner

目前数控加工精度已达到微米级,对刀精度要求愈来愈高。传统的刀具测量方式采用人眼瞄准,容易带来主观误差,使对刀精度降低。在基于图像处理的刀具测量系统中,CCD数码相机将对刀状态的图像摄入,通过USB接口输入计算机。首先提取出刀具轮廓的特征点,再对轮廓曲线进行分段,从而测量刀具的长度、半径、角度等参数。通常利用曲率信息来提取轮廓特征点,三点曲率法对噪声较敏感,十一点曲率法能较好地估算出轮廓的曲率,并能简单提取出轮廓的角点与切点区域^[1,2]。本文提出利用最小二乘法拟合角点和切点区域的曲线,根据计算的斜率和曲率的特点能有效确定角点和切点。

1 图像预处理

被测刀具的图像如图1所示。CCD相机采集到刀具的彩色图像,将其转化为256色的灰度图像,如图1a所示,采用最大方差阈值法将图像二值化。由于刀具表面存在油污,光线散射等原因,图像二值化后,在刀具部分有颗粒状噪声,而刀具以外有细小孔洞存在,所以在提取轮廓前,采用形态学算子滤波。在图像形态学中,最基本的运算是腐蚀和膨胀运算,通过腐蚀和膨胀可以构成开运算与闭运算。开闭运算都能够平滑边缘,其中开运算能够消除细小物体,闭运算能够填充物体孔洞。本文采用方形结构元素,对图像先闭运算后开运算,有效地滤除了图像的细小孔洞和噪声,而刀具的结构和面积基本保持不变。图1b所示为

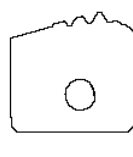
滤波后的二值图像。



(a) 灰度图像



(b) 二值图像



(c) 轮廓图像

图1 被测刀具的图像

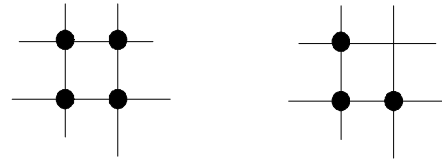


图2 细化结构元素对 $B=(E, F)$

2 轮廓提取

根据图像形态学中定义,将腐蚀后的图像与膨胀后的图像相减,得到形态学梯度从而提取边缘,此时边缘像素宽度大于一个像素,需要进行细化,将宽度不均匀的边缘简化为单像素宽^[3]。细化的定义依赖于击中击中不中变换,采用结构元素对处理图像。图2所示为细化结构对 $B=(E, F)$,利用 B 细化 S 的定义为

$$S \otimes B = S \setminus (S * B) \quad (1)$$

一般利用结构元素对 B^1, B^2, \dots, B^k ,迭代产生输出序列

$$S^1 = S \otimes B^1, \dots, S^k = S^{k-1} \otimes B^k \quad (2)$$

随着迭代进行,得到的图像也不断细化,最终结果将稳定下来。 B^k 可以选择相同的结构元素对,实际中,通常使用八个方向的结构对进行细化,使得细化后的图像更加对称。

细化完的轮廓边缘会有毛刺产生,若直接进行轮廓跟踪,则可能在毛刺处中断,不能闭合边缘。采用形态学的修剪算法,来去除边缘的毛刺。修剪算法是细化算法的一种变体,使用八个结构对构造修剪算法,使得各个方向的毛刺都可以修剪,图1c所示为最后得到的轮廓图像。

3 轮廓特征点提取及分段

图像轮廓边缘检测出来后,利用八邻域算法跟踪轮廓,将图像轮廓点按顺序保存,以便作矢量分析,确定图像的角点,切点,凹凸部分,并进行轮廓分段识别^[4]。

本文处理的轮廓曲线由直线和圆弧组成,采用基于曲率的方法来寻找特征点^[5]。曲线的曲率可由曲线上的离散点来近似求得,通常的三点法采用当前点 P_i 、前一点 P_{i-1} 和后一点 P_{i+1} 来计算曲率,但这种方法对噪声较敏感,文献[1]提出用十一点来计算曲率,此方法扩大了计算区域,可有效减小噪声的影响。

设 $R_{i1} = P_i - P_{i-5}$, $R_{i2} = P_{i+5} - P_i$,则11点曲率计算公式为^[1]

$$k = \text{sign}((x_i - x_{i-5})(y_{i+5} - y_i) - (y_i - y_{i-5})(x_{i+5} - x_i)) \frac{R_{i1} R_{i2}}{\|R_{i1}\| \|R_{i2}\|} \quad (3)$$

此时的曲率不是真正意义上的曲率,但它同样能准确反映曲线的弯曲程度。曲线上直线和圆弧相对位置关系有五种情形,如图3所示,它们的曲率图可简化为两种情况,如图4所示,图4a表示角点处曲率有突变,图4b表示切点处曲率平稳增大。图5所示为含噪声的曲率图,曲率在变化上出现毛刺,但变化规律同图4。可看出在角点和切点处,曲率图的局部存在极大值,利用这一特点可将轮廓上特征点检测出来。



图3 直线与圆弧相对位置关系

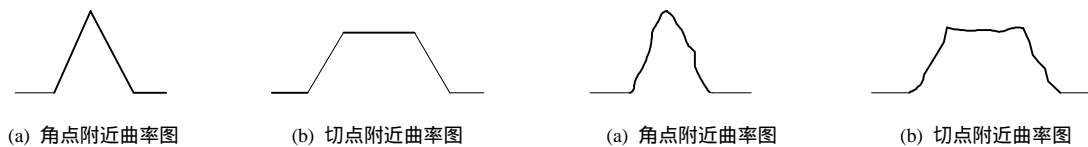


图4 直线与圆弧理想曲率图

图5 直线与圆弧含噪声曲率图

首先根据式(3)计算轮廓上所有点的曲率,并根据所设定的阈值来寻找曲率局部极大值,从而确定特征

点。实际提取结果为特征点的区域,如图6所示的刀具局部轮廓,所以仍需进一步定位到最接近实际特征点处。

本文讨论角点和切点定位的改进算法。在光滑曲线上,其导数曲线也是连续的,即各点的左斜率与右斜率相等,而在轮廓的角点处,导数曲线不连续,左斜率与右斜率相差很大。利用最小二乘法拟合法得到各点的左右斜率,便可确定角点。

设拟合多项式为

$$P_{m-1}(x) = a_0 Q_0(x) + a_1 Q_1(x) + \cdots + a_{m-1} Q_{m-1}(x)$$

式中 $Q_j(x)$ 为正交多项式, a_j 为正交多项式线性组合的系数,它们可由递推公式求得,不再详述。角点定位步骤如下:

1) 假设角点区域大小为 n 。在区域中的点 p_k 处,取 p_k 及其左边共 $m+1$ 点拟合曲线,计算其左斜率 h_{lk} ,同样取 p_k 及其右边共 $m+1$ 点拟合曲线,计算其右斜率 h_{rk} 。

2) 计算区域中全部点的左右斜率,得到序列 $h_{lk}, h_{rk} (k=1,2,\cdots,n)$,并计算左右斜率差分值 $\Delta h_{lk}, \Delta h_{rk}$,取最大值处即为角点。

在轮廓的切点处,左右斜率相等,不能应用上述方法。但在切点处轮廓曲率发生变化,曲率差分最大处为切点,实际上由于噪声和最小二乘法的影响,直线曲率变化较大,所以往往曲率差分最大处并不为切点,而拟合后的圆弧曲率与实际相差不大,利用这一特点,便可确定切点。具体步骤如下:

1) 利用最小二乘法拟合出切点区域附近曲线。

2) 计算拟合后各点的坐标,根据公式(3)得到各点的新曲率。

3) 计算曲率差分,从曲率大的方向(即圆弧段)开始搜索差分序列,当某点处曲率差分小于某一阈值时,认为进入直线段,此点即为切点。

利用上述算法便可提取出特征点,如图7所示。然后可根据曲率来将圆弧和直线分段,即曲率大于某一阈值为圆弧段,否则为直线段。再对分段后的轮廓进行分析,得到用于参数测量的关键曲线段,在这些曲线段处,采用亚像素算法进行测量,最后得到精确的刀具参数。

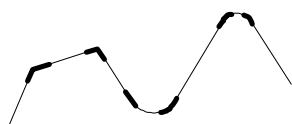


图6 刀具局部轮廓特征点区域

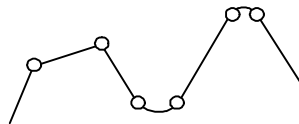


图7 刀具局部轮廓特征点

4 总 结

本文介绍了刀具测量系统中的图像处理方法,阐述了二值图像的形态学滤波、细化、修建算法,利用十一点曲率法得到轮廓的角点和切点大致位置。并提出一种基于最小二乘拟合的改进算法来定位角点和切点,该算法在实际系统中应用结果表明,能有效确定角点和切点,并对轮廓曲线准确分段。

参 考 文 献

- [1] Castleman K R. Digital image processing[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
- [2] 崔屹. 图像处理与分析[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [3] 张翔,刘媚洁,陈立伟. 基于数学形态学的边缘提取方法[J]. 电子科技大学学报,2002,31(5): 492-495
- [4] 王英惠,吴维勇,赵汝嘉. 平面轮廓的分段与识别技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2002,14(12): 1142-1145
- [5] 王金鹤. 扫描图象曲线轮廓关键点的提取及其处理[J]. 中国图象图形学报,2001,6(7): 699-702

编辑 漆 蓉