

基于图像连通区域数的刀具磨损状态 特征提取实验研究

李鹏阳 郝重阳 祝双武

(西北工业大学电子信息学院, 西安 710072)

摘要 为了利用计算机视觉技术进行刀具状态监测,设计了机械加工刀具状态监测实验系统,并通过将图像处理技术引入到机械加工刀具磨损状态监测中,提出了一种通过提取工件表面图像的连通区域数来判断刀具磨损状态的新方法。该方法首先采集被加工工件的表面图像;然后对图像进行预处理,并对区域行程算法进行了改进,再用改进的区域行程标记算法对机械加工工件表面图像进行标记;最后通过统计连通区域数来判断刀具的磨损状态。理论和实验分析表明,由于加工工件表面图像的连通区域数和刀具磨损有很强的相关性,其可以间接判断刀具磨损情况,从而可达到对刀具状态进行监测的目的。实验表明,该方法计算简单、识别速度快,可以有效地判断刀具的磨损状态。

关键词 图像处理 连通域数 刀具磨损 实验研究

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2008)08-1476-05

Experimental Studies on Feature Extraction of Tool Wear Condition Based on Image Connected Components Integer

LI Peng-yang, HAO Chong-yang, ZHU Shuang-wu

(College of Electronic Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract In order to study the monitor of cutting tool condition in machining based on computer vision, the experimental system on the state of cutting tool condition monitor system is designed, the image processing technology is introduced into the condition monitoring of cutting tool wear, a new method of judging the cutting tool state is proposed by extracting the cutting surface connected components integer number. The images of cutting surface are collected and preprocessed. The tradition stroke label algorithm is improved, the preprocessed cutting surface images are labeled using the algorithm above, and the connected component integer number is calculated to judge the wear state of cutting tools. Both theoretical analysis and experiments show that there is a strong relativity between the connected component integer number of the cutting surface and the cutting tool wear state, the cutting tool wear condition can be estimated indirectly. And then the objective of monitoring the cutting tool condition is achieved. It is concluded that the method of judging the cutting tool wear condition through extracting the connected component integer of cutting surface is simple, the identification speed is fast, and the cutting tool wear condition can be judged effectively in this way.

Keywords image processing, connected components integer, tool wear, study of experiments

基金项目: 国家自然科学基金项目(50475039); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2006E123); 陕西省教育厅科学研究计划项目(07JK335)

收稿日期: 2006-11-28; **改回日期**: 2007-03-13

第一作者简介: 李鹏阳(1972~), 男, 西安理工大学讲师。现为西北工业大学博士研究生。主要研究方向是图像处理与模式识别、机械加工在线监测。E-mail: lipenyang@xaut.edu.cn

1 引言

计算机视觉技术的发展,推动了刀具状态监测系统(tool condition monitoring system, TCMS)技术的进一步发展,并出现了基于计算机视觉的刀具状态监测技术^[1,2],近年来,基于数字图像处理的工件表面特征及刀具自身特征的刀具状态监测技术得到了广泛的研究与应用,其本质上也属于计算机视觉系统的一部分^[3,4]。这种监测方法有直接监测刀具自身特征的直接监测法以及监测加工工件表面特征的间接监测法两类^[5],它能在一定程度上克服其他监测方法,如监测切削力、振动、温度、声发射、功率等方法存在的缺陷,将会成为刀具状态监测领域的又一种监测手段。国内外部分学者在基于图像处理的刀具监测方面虽做了一定的研究工作,但由于受加工环境、加工对象等因素的影响,致使直接应用于生产加工过程的基于计算机视觉的刀具监测技术还不成熟,许多技术有待研究与完善。针对图像处理技术在刀具状态监测中应用的进一步研究,利用摄取的刀具在不同磨损状态下加工出的工件表面图像,通过图像处理提取工件表面特征来间接判断刀具的磨损程度,这对于促进视觉技术在刀具状态监测技术领域的应用及提高企业生产自动化水平具有重要意义,本文将图像处理中的连通区域数引入到刀具加工状态监测中,并对传统的区域标记算法进行了改进,先通过设计的实验系统采集工件表面图像,再对图像进行预处理后,用来提取刀具的状态特征。

2 实验系统的组成及过程

机械加工切削刀具状态监测实验系统如图 1 所示,该系统由 CA6150 车床、冷光源、20~80 倍显微镜、CCD 摄像头、图像采集卡和计算机等组成。

实验条件 1:

工件材料	25Cr3Mo3NiNb(Ø120mm)
切削深度	0.5 mm
主轴转速	400 rpm
进给量	0.24mm/r
刀具	90°YT15, $\gamma_0 = 6^\circ$, $\alpha_0 = 12^\circ$, $\kappa_r = 88^\circ$, $\kappa'_r = 10^\circ$, $\lambda_s = 0^\circ$
放大倍数	50 倍
切削方式	外圆车削

实验条件 2:

工件材料、切削深度、主轴转速、进给量同实验条件 1,

刀具	45°YT15, $\gamma_0 = 8^\circ$, $\alpha_0 = 11^\circ$, $\kappa_r = 40^\circ$, $\kappa'_r = 47^\circ$, $\lambda_s = 5^\circ$
放大倍数	40 倍
切削方式	端面车削

其中, γ_0 为前角, α_0 为后角, κ_r 为主偏角, κ'_r 为副偏角, λ_s 为刃倾角。按照实验条件 1 和实验条件 2, 先分别用 3 把相同规格的车刀进行加工, 同时采集刀具从锋利状态到初期磨损、严重磨损所有刀具和工件的表面图像, 并从每幅图像中截取 256×256 pixels 大小的图像, 然后对图像进行处理。

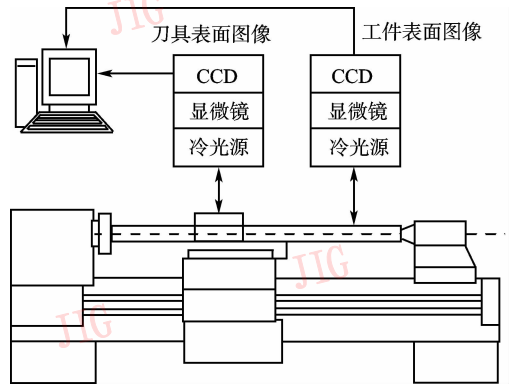


图 1 刀具状态监测实验系统

Fig. 1 Experimental system of cutting tool state monitor

3 图像处理过程

基于图像连通区域数的图像处理过程如图 2 所示。图像中包括背景和物体两部分,且在背景与目标物体交界处的灰度往往表现出很大的差异性,而图像分割就是按照某一选定的一致性准则,将整个图像正确划分为互不交叠的区域集 $\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 的过程。正确的区域分割必须满足以下 4 个条件^[6]:

$$X = \bigcup_{i=1}^n S_i \quad (1)$$

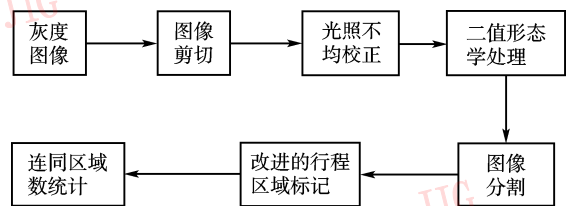


图 2 图像处理流程图

Fig. 2 The flow of image processing

$$S_i \cap S_j = \emptyset \quad \text{对所有 } i \neq j \quad (2)$$

$$P(S_i) = 1 \quad \text{对所有 } i \quad (3)$$

$$P(S_i \cap S_j) = 0, \text{ 对所有 } i \neq j; S_i, S_j \text{ 相邻} \quad (4)$$

式中, X 代表整个图像; $i, j = 1, 2, \dots, n$ 。上述条件指出分割后得到的全部子区域的总和不仅能包括图像中的所有像素,而且各个子区域不重叠,但分割后得到的同一区域的像素应该具有某些相同特性,而不同区域则具有不同的特性。其中图像整体分割的方法是采用局部阈值法,而子图像分割则采用类间、类内方差比法,二值图像的形态学操作包括腐蚀和开操作,其目的是去除图像中细小的背景图像,其中可能包含有图像的黑噪声。

4 行程标记算法及其改进

区域标记有多种算法,其中常用的有串行标记算法、行程标记算法等,但它们对机械加工工件图像表面区域进行标记都很不理想,为此本文对行程标记算法进行了改进,以获得比较满意的标记效果。

行程标记算法如下:

- (1) 行扫描行程,把图像中每行独立的小段记为一个行程,如在二值图像中,若干 1 或 0 是一个行程;
- (2) 正向合并行程,从图像的左上角向右下角合并连通的行程;
- (3) 反向合并行程,从图像的右下角向左上方合并连通的行程;
- (4) 区域标记过程结束。

一般情况下,该算法可以快速、准确地完成区域标记。但是,在实验中发现,该算法常常会出现标记错误的现象,其中最容易出现的是有些区域不能标记进去。经过分析发现,这是由于工件加工表面区域的形状过于复杂,该算法只进行了一次正向和反向合并操作,不能完全合并连通的行程,因此要对该算法进行修正,提出了对行程进行多次合并操作的改进

行程标记算法。改进的行程标记算法步骤如下:

(1) ~ (3) 与行程标记算法步骤(1) ~ 步骤(3) 一样;

(4) 重复步骤(1) ~ 步骤(3),比较本次标记结果与上次的标记结果是否一致,如果一致,则标记结束;如果不同,则继续重复步骤(1) ~ 步骤(3),直到结束。

5 刀具磨损状态的特征提取

机械加工刀具主要出现下列几种磨损情况:主后面磨损 (flank wear) VB、前刀面 (月牙洼) 磨损 (cratering) KT、边界磨损 (end wear) 等,通常前刀面磨损、后刀面磨损和边界磨损会同时出现,由于多数情况都会发生后刀面磨损,而且后刀面磨损带宽度测量方便,所以一般多采用后刀面磨损量 VB 值来衡量磨损程度。可是随着刀具磨损量的增加,表现在工件表面的纹理结构发生变化,开始时是有规律均匀的条状走刀痕迹,到最后纹理的结构变得凌乱破碎,呈现撕裂的形状。实验条件 1 的部分工件表面图像如图 3 所示,实验条件 2 的部分工件表面图像如图 4 所示。按照图 2 的图像预处理过程,对图 3 进行分割,首先得到二值图像(如图 5 所示);然后分别用改进的行程标记算法对工件表面图像进行标记;最后求取连通区域数,部分处理结果如表 1、表 2 所示,3 把刀具的切削加工工件表面图像的连通区域数如图 6、图 7 所示。由图 6、图 7 可以看出,由于随着刀具的磨损,工件表面图像分割得到的连通区域数变大,而且当刀具严重磨损时,其数值急剧增大,与刀具磨损实测曲线有很强的相关性(如图 8、图 9 所示),因此连同区域数可以用于准确监测刀具的严重磨损状态,这是因为随着刀具的磨损,工件表面纹理变得不规则,碎段的数目增加,所以表现在边缘的数目上也会增加。

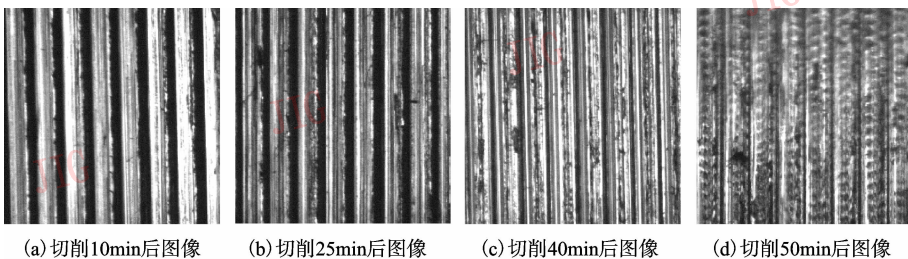
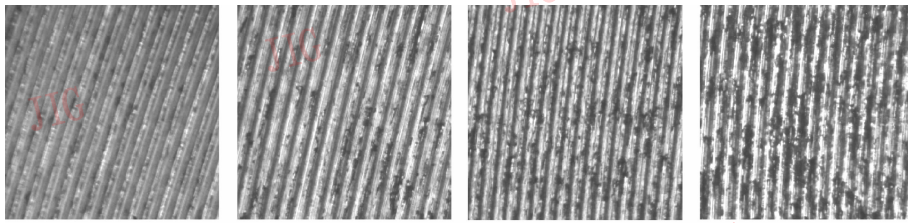


图 3 外圆切削加工刀具从锋利到严重磨损的工件图像(实验条件 1)

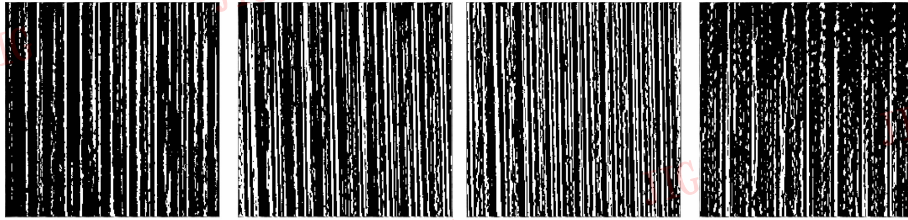
Fig. 3 The workpiece images of the cutting tool from sharp state to dull state



(a) 切削15min后图像 (b) 切削30min后图像 (c) 切削45min后图像 (d) 切削60min后图像

图 4 端面切削加工刀具从锋利到严重磨损的工件图像(实验条件 2)

Fig. 4 The workpiece images of the cutting tool from sharp state to dull state



(a) 切削10min后图像 (b) 切削25min后图像 (c) 切削40min后图像 (d) 切削50min后图像

图 5 图 3 分割后的二值图像

Fig. 5 The segmented binary images of Fig. 3

表 1 部分工件表面分割图像的连通区域数(实验条件 1)

Tab. 1 The connected components integer of partial workpiece image segmenting

刀具号	加工时间 (min)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1#	95	97	111	136	140	176	199	283	561	776
2#	60	77	121	106	134	146	162	333	601	706
3#	76	85	105	117	121	155	178	270	506	733

表 2 部分工件表面分割图像的连通区域数(实验条件 2)

Tab. 2 The connected components integer of partial workpiece image segmenting

刀具号	加工时间 (min)									
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
1#	80	97	111	126	142	156	188	383	581	782
2#	50	76	102	111	120	136	152	318	562	691
3#	46	54	96	109	114	122	145	255	489	669

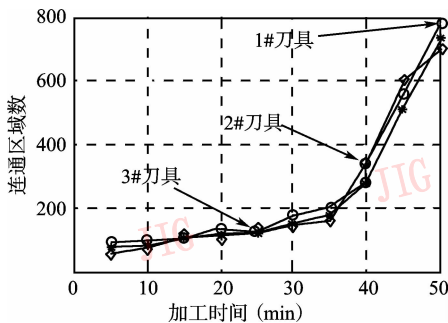


图 6 工件表面分割图像的连通区域数(实验条件 1)

Fig. 6 The connected components integer of workpiece images

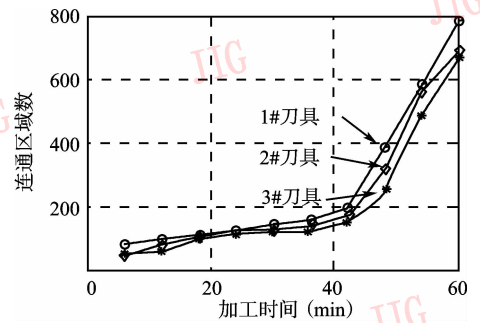


图 7 工件表面分割图像的连通区域数(实验条件 2)

Fig. 7 The connected components integer of workpiece images

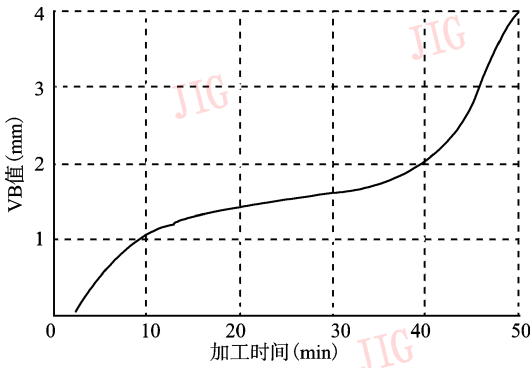


图8 1#刀具磨损实测图(实验条件1)

Fig.8 The real figure of the No.1 cutting tool wear

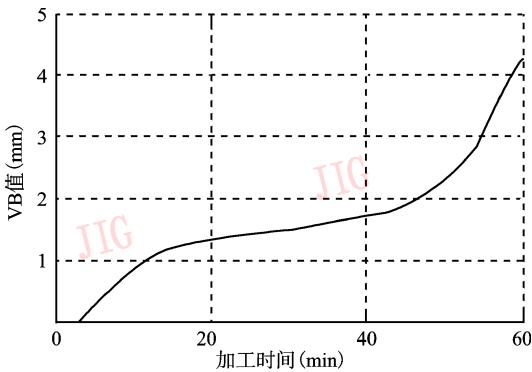


图9 1#刀具磨损实测图(实验条件2)

Fig.9 The real figure of the No.1 cutting tool wear

6 结论

本文介绍了刀具状态监测实验系统的基本组成

和实验的过程,实践表明,该系统可以用于深入研究基于视觉的机械加工刀具状态监测。该系统在进行监测时,首先对基于车削实验所得到的加工工件表面纹理图像进行了预处理,并在图像分割的基础上,用改进的区域行程标记算法对图像连通域数进行统计。计算结果显示:由于基于图像提取的连通区域数可以反映出刀具的磨损程度,因此可以作为刀具磨损状态的特征量。

参考文献 (References)

- 1 Shao H, Wang H L, Zhao X M. A cutting power model for tool wear monitoring in milling[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2004, **44**(11):1503~1509.
- 2 Kassim Ashraf A, Mannan M A, Ma Jing. Machine tool condition monitoring using workpiece surface texture analysis [J]. Machine Vision, 2000, **11**(4):257~263.
- 3 Gadelmawla E S. A vision system for surface roughness characterization using the gray level co-occurrence matrix [J]. NDT&E International, 2004, **37**(10):577~588.
- 4 Kassim A A, Zhu Mian, Mannan M A. Connectivity oriented fast hough transform for tool wear monitoring [J]. Pattern Recognition, 2004, **37**(9):1925~1933.
- 5 Zhang Li, Xu Qing, Ji Shi-ming, et al. A review of tool condition monitoring based on machine [J]. Vision. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2001, **18**(6):89~92. [张利,许青,计时鸣等. 基于计算机视觉的刀具磨损状态识别技术[J]. 机电工程, 2001, **18**(6):89~92.]
- 6 Zhang Yu-jin. Image Processing and Analysis[M]. Beijing: Publish of Tinguang,2000. [章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社,2000.]