



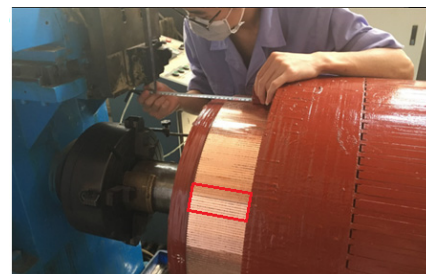
DOI: 10.12086/oe.2018.170600

面向机器视觉的云母槽精确定位系统

潘银松^{1,2*}, 李政英¹, 王丽芳^{1,2}, 丁微微¹,
蒲春宇¹

¹重庆大学光电技术与系统教育部重点实验室, 重庆 400044;

²重庆大学城市科技学院, 重庆 402167



摘要: 针对机车电机整流子维修加工过程中, 当前普遍应用的激光调制定位型云母槽削刻系统存在精度较低且需大量人工干预的问题, 提出了一种基于机器视觉的云母槽精确定位方法, 来克服电机整流子云母槽边缘难以精确提取的难点。本系统首先自主设计了精度补偿算法并构建了定位误差修正模型, 基于此搭建了嵌入式系统平台, 实现了对云母槽中心线的全自动快速精确定位; 准确计算刻刀与中心线的偏差值; 精确控制刀头移动到正确的下刻位置。实验结果表明, 该仪器能精准计算云母槽中线位置, 通过伺服电机对铣刀进行微调对准, 并将刻刀定位误差控制在 0.02 mm 之内, 实现了整个操作流程的自动化和精确化。

关键词: 机器视觉; 精确定位; 精度补偿; 误差修正; 自动化

中图分类号: TP391.8; TP273

文献标志码: A

引用格式: 潘银松, 李政英, 王丽芳, 等. 面向机器视觉的云母槽精确定位系统[J]. 光电工程, 2018, 45(7): 170600

The precise positioning system of mica trough based on machine vision

Pan Yinsong^{1,2*}, Li Zhengying¹, Wang Lifang^{1,2}, Ding Huihui¹, Pu Chunyu¹

¹Key Laboratory of Optoelectronic Technique System of the Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

²City College of Science and Technology, Chongqing University, Chongqing 402167, China

Abstract: In view of the issue that in the process of locomotive motor commutator maintenance and processing, laser modulation and positioning type mica slot engraving system are widely used in real applications. However, it has low precision and requires a lot of human intervention. To overcome this problem, this paper proposed a precise positioning method of mica slot based on machine vision, which can accurately extract the edge of the motor commutator. The system first independently designs the precision compensation algorithm and constructs the positioning error correction model. Based on this, the embedded system platform is built to realize the automatic, rapid and accurate positioning the center line of the mica slot. Then the system achieves accurate calculation the deviation between the knife and the center line and control the bit tool to move to the correct engraved position. Experimental results indicate that the instrument can accurately calculate the position of the mica slot center line. Through the servo motor control burin to adjustment and aim the midline, the knife positioning error has been controlled between

收稿日期: 2017-11-05; 收到修改稿日期: 2018-04-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41371338); 重庆市基础与前沿研究计划基金资助项目(cstc2013cyj A40005)

作者简介: 潘银松(1963-), 男, 博士, 副教授, 主要从事传感技术及系统和信息获取及处理技术、图像处理、模式识别等的研究。

E-mail: panys@cqu.edu.cn

the positive and negative 0.02 mm, achieving the entire operation process automation and precision.

Keywords: machine vision; precise positioning; precision compensation; error correction; automation

Citation: Pan Y S, Li Z Y, Wang L F, *et al.* The precise positioning system of mica trough based on machine vision[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(7): 170600

1 引言

随着“一带一路”战略的持续推进,中欧班列、泛亚铁路网部分建成通车,我国主导的跨国铁路网逐渐成型,对智能化电机整流子维修加工的需求也越来越迫切^[1]。目前,我国各大机务段仍以激光调制定位配合人工调整的方式对磨损的电机整流子进行削刻,其存在云母槽定位精度低、耗时长、损坏率高等问题^[2],已经不能满足今后我国对铁路运力的巨大需求。因此,如何提高整流子云母槽下刻精度已成为电机转子维修加工领域中的研究热点^[3]。

国内外学者对此进行了积极有效的探索,目前主要是通过使用光电跟踪定位或激光调制定位来进行整流子云母槽的定位^[4]。光电跟踪定位其检测位置仅为云母槽的一个点,定位精度低、稳定性差且需要人工进行微调^[5]。激光调制定位^[6]利用铜片和云母片对激光的反射率不同来检测云母槽所在位置,使用这种方法只能获得其中心线的大致位置,且常常发生漏刻、错刻的情况,因此需要在每次下刻前通过人工校验进行误差补偿,效率较低。针对上述问题,管功湖等^[7]结合 CCD 摄像头设计了云母槽检测与定位系统,定位精度有了明显的改善,但该系统采用硬件二值化处理,限制了其对云母槽边缘的检测精度。

为了解决上述问题,进一步提高检测精度,本文设计并实现了一种基于机器视觉的云母槽自动精确定

位系统,该系统通过设计精度补偿算法计算出铣刀刀头与云母槽中心线的相对距离,再通过定位误差修正模型对刀头位置进行调整,使其与云母槽中心线对齐。此外,通过加入人工调节模块完成初始化基数的设定,在极端条件下可实现人工干预。

2 云母槽精确定位系统介绍

电机整流子在使用过程中,由于铜刷不断地摩擦,在长时间作用下使得铜屑在云母槽中积聚^[8]。为防止铜片间连通造成短路,需对云母槽进行维修削刻。磨损的电机整流子如图 1 所示,图 1(b)为图 1(a)中红框标出整流子的局部细节图,图 1(b)中被铜渣部分覆盖的黑条即为云母槽。

在使用削刻机对磨损电机整流子进行削刻时,通过设定转动角度,削刻机底座带动整流子以固定的角度 θ 转动。当固定好刻刀位置后,由于整流子铜片和云母槽原则上是均匀排列的,正常情况下只要转动角度 θ 设定合理,刻刀刀头每次削刻时都应与云母槽中心线对齐^[9]。电机整流子转动示意图如图 2 所示。

由于电机整流子制作工艺的限制,云母槽和铜片并不能保证完全均匀的排列^[10],加上下刻机底座转动过程中转动角度的随机误差,常常导致刀头不能与云母槽中心线完全对齐。如果不经对准就进行下刻,轻则返工,重则导致电机整流子报废。针对上述问题,本文设计了一种精确定位的方法,通过设定刀头的“归

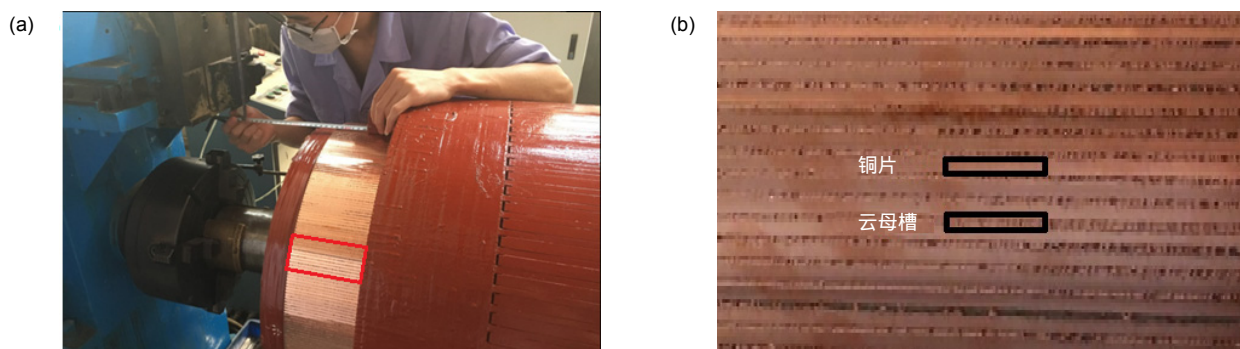


图 1 磨损的电机整流。 (a) 正在维修的电机整流子; (b) 磨损的电机整流子局部细节图

Fig. 1 Worn motor commutator. (a) Motor commutator being repaired; (b) Local detail view of worn motor commutator

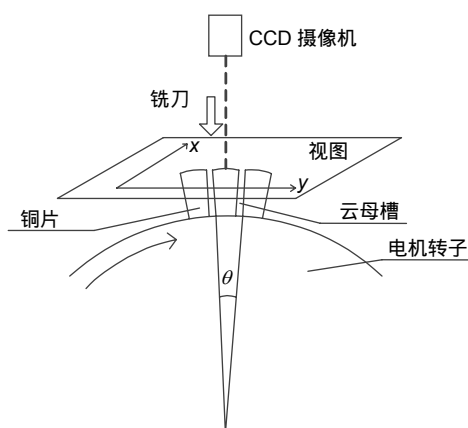


图 2 电机整流子转动示意图

Fig. 2 Schematic diagram of rotating motor commutator

零点”，即刀头的初始位置，在系统通电后第一次下刻时人工微调刀头，可通过算法得到刀头“归零点”到图像上边缘的距离 U ，进而以此为基准，通过计算云母槽中心线在图像中的线数 M ，得到刀头与中线距离偏差值 X 。该定位方法具体标定如图 3 所示。

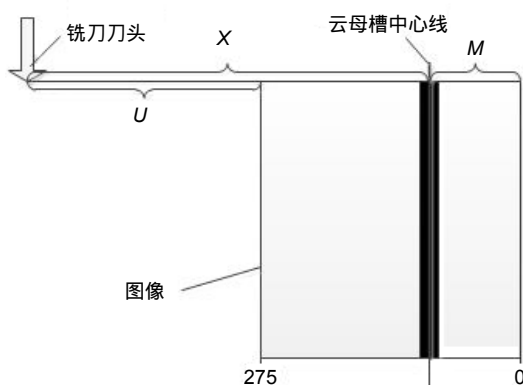


图 3 精确定位原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of precise positioning principle

图 3 中“0”与“275”分别表示图像上下边缘线，图像中每两条线的间距对应伺服电机 100 个单位脉冲。因此，刀头与中线距离偏差值 X 精度定位的计算公式可表示为

$$X = U + (275 - M) \times 100 \quad (1)$$

3 精确补偿算法分析

精确补偿算法为本系统的核心部分，通过该算法可实现云母槽中心线的精确定位，根据系统设计过程

中遇到的问题和实际应用的需求，该算法主要包括三个部分，分别是自锁互锁算法、基于细分排序的改进型中值滤波算法、“规避双线”与“防误识”算法。

3.1 自锁互锁算法

实际应用中程序可能因误操作或硬件问题发生崩溃带来不可预知的后果。由于本系统要求有极高的检测精度，在硬件满足精度要求的情况下，程序算法也应有缜密的设计。为了提高算法整体的严谨性，避免误操作或程序自崩溃，本系统设计了自锁互锁算法。该算法为每个程序模块设定一个标签，每次执行完一个程序模块后都将其对应标签置为 0，将下一程序模块的标签置为 1，其他标签不变，避免由于不恰当的操作使得程序进入其他模块。由于该算法通过对各程序模块设定标签控制各模块的运行，并通过标签值的改变来控制各模块间的配合运行，故而称该算法为自锁互锁算法。该算法可实现程序的自锁与互锁，避免程序崩溃后对系统精度产生影响进而产生无法预知的结果。

3.2 基于细分排序的改进型中值滤波算法

由图 1 可知，磨损的电机整流子其铜片和云母槽的分界较为模糊，为了突显铜片和云母槽的分界线，本系统采用中值滤波算法去除不需要的噪声信号，以减小干扰^[11-12]。中值滤波器用指定像素的相邻像素的灰度中值来代替该像素的值：

$$\hat{f}(x, y) = \underset{(s,t) \in S_{xy}}{\text{median}}\{g(s, t)\} \quad (2)$$

其中： $\hat{f}(x, y)$ 是中心像素的灰度值， S_{xy} 表示中心在 (x, y) ，尺寸为 $m \times n$ 的矩形窗口的坐标组。中值滤波器对于一定类型的随机噪声提供了一种优良的去噪能力，尤其对椒盐噪声信号有着很好的抑制效果^[13-14]。

本系统采集的图像分辨率较高，若采用传统的中值滤波算法，其滤波计算量随着选用窗口长度的加大而迅速增加^[15]，耗时较长。提出了一种基于细分排序的改进型中值滤波算法。

系统采集的视频制式为 PAL 制，本系统采集每帧图像奇数场的 276 行，每行取样 60 个灰度值点，对每行灰度值点数据进行中值滤波时，需分组进行排序以提高效率。为得到最佳分组方案，对采集到的数据进行了实验测试，分别将 60 个灰度值点等分为 2 组、3 组、4 组、5 组、6 组，经验证分为 4 组时效率最高，此时分别对每组 15 个灰度值点进行细分排序。设定每组第一个元素为标签，细分排序即将所有比该标签小

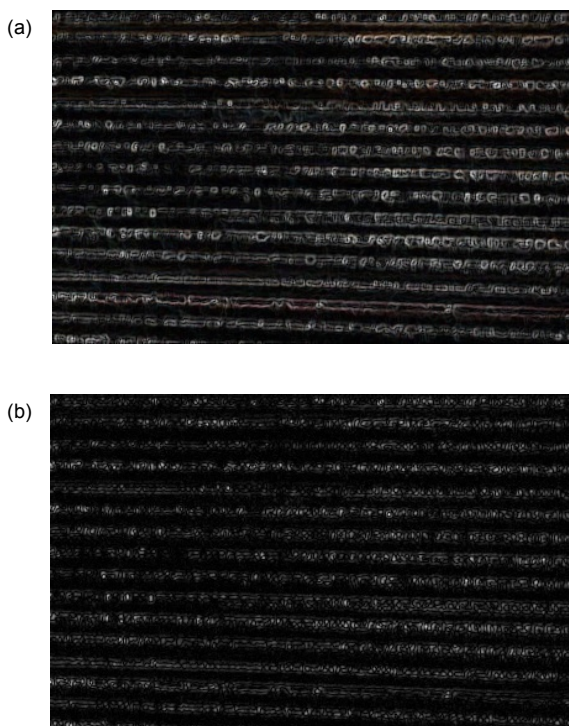


图 6 边缘检测效果。(a) Sobel 算子边缘检测效果图；
(b) Laplacian 算子边缘检测效果图
Fig. 6 Edge detection effect. (a) Edge detection effect diagram of Sobel operator; (b) Edge detection effect diagram of Laplacian operator

在云母槽使用过程中有时会在铜片上产生轻微的划痕，或由于铜粉的覆盖使得云母槽难以识别，为了防止系统将划痕和其他噪声信号误认为是云母槽，设计了防误识算法。该算法采取两两配对原则，即将相邻两条扫描线的灰度值均值之和与下两条扫描线的灰度值均值之和进行对比，如图 7 所示。

同时，设定 G_{top_line2} 与 G_{down_line2} 之差的阈值，当两



图 7 防误识算法图示
Fig. 7 Schematic diagram of algorithms to prevent error recognition

者之差超出阈值范围时，将其判别为非云母槽。该算法能够有效避免划痕对判断云母槽边缘线的影响，具体如下：

$$(L_1 + L_2) - (L_3 + L_4) = G_{top_line2} \quad (5)$$

$$(L_3 + L_4) - (L_1 + L_2) = G_{down_line2} \quad (6)$$

$$25 < G_{top_line2} - G_{down_line2} < 35 \quad (7)$$

避免同一帧图像中出现两条云母槽是本系统需要解决的另一个问题，受摄像头视角宽度的影响，在极端情况下会发生该种情况，如果不加以处理，系统将无法判别所需削刻的云母槽。为了使得系统不受摄像头视角宽度影响，能广泛应用于各类拍摄环境，可通过算法程序对图像进行截取以保证单幅图像内不会出现两条云母槽。因此，在程序中加入了判断条件，使得程序在图像的第 55 条和 225 条扫描线间求取云母槽上下边缘，避免了同一帧图像出现两条云母槽的情况。

4 实验结果分析

4.1 精确定位实验

在系统测试环节，通过自主设计的实验平台进行检验。该平台模拟机务段加工电机整流子的环境，因机车电机整流子体积较大，故采用定制的小型电机整流子进行实验，旨在测试该系统在模拟真实条件下的定位精度，实验平台如图 8 所示。

使用该实验平台进行测试得到一组实验数据，如图 9 所示。由前述算法可知，该组数据记录了图像第 55 条至 225 条扫描线间共 171 行采样点的灰度值，通过求取图像每行采样点灰度值的均值后，经模数转换可得到各行的 AD 值。由图 9 可知，经计算得到云母槽中心线为图像第 140 行，图中 G_{middle_line} 即为所求得

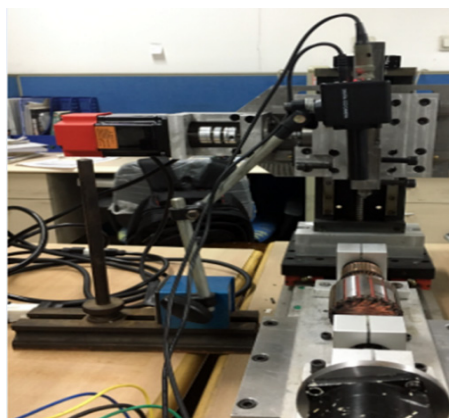


图 8 实验平台
Fig. 8 Experimental platform

的云母槽中心线位置，多次实验均得到该结果，证明该系统稳定性较好。通过定位误差修正模型调整刻刀位置后，经测量此时刻刀刀头与云母槽中心线的实际偏差为 0.02 mm，满足系统要求。

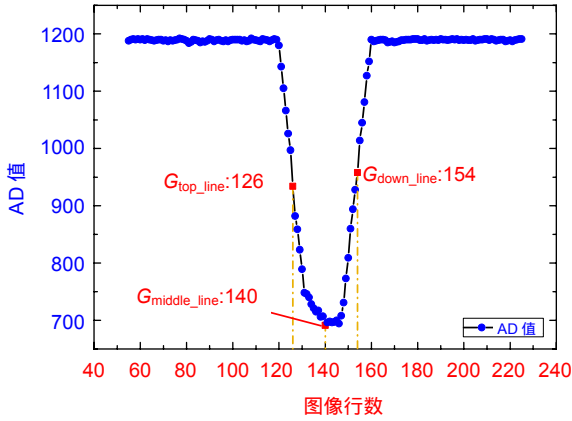


图 9 精确定位实验数据结果

Fig. 9 Experimental data results of accurate positioning

4.2 定位误差对比实验

为进一步分析本文方法相对于其他刻刀定位方式的优劣性，设计了与机务段通常采用的激光调制定位方式的对比试验。通过在同一削刻机上分别安装两个定位系统，选定十条云母槽进行测试。在云母槽就位后，依次采用两种定位方式计算刻刀与云母槽中心线的偏差，采取各自的误差修正模型进行校准，分别统计两种定位方式在校准后刀头和云母槽中心线的最终偏差来做对比，进行了 10 次实验，实验中在定位完成后通过刻刀基座将刀头移动到电机整流子边缘，即可使用游标卡尺进行误差测量。A 组为机务段通常采用的激光调制定位方式，B 组则采用本系统设计的精确定位方式。结果如图 10 与表 1 所示。

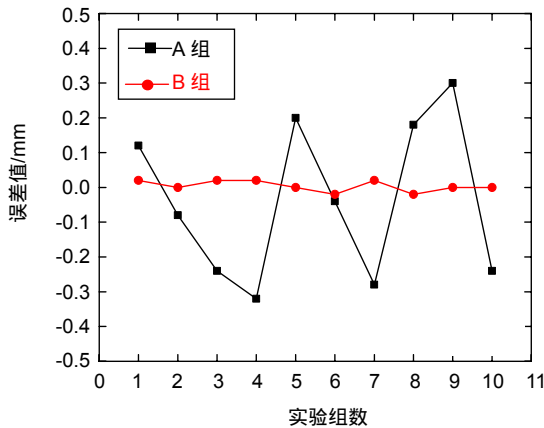


图 10 两种定位系统误差值

Fig. 10 Error value of two positioning systems

由图 10 可得知，该系统设计的精确定位方式的精度误差相对于比激光调制定位更高，且相对稳定，其误差对于实际应用而言是可以接受的。

表 1 两种定位系统误差值

Table 1 Error value of two positioning systems

实验序号	A 组误差/mm	B 组误差/mm
1	+0.12	+0.02
2	-0.08	0
3	-0.24	+0.02
4	-0.32	+0.02
5	+0.20	0
6	-0.04	-0.02
7	-0.28	+0.02
8	+0.18	-0.02
9	+0.30	0
10	-0.24	0

5 结论

针对目前电机整流子维修加工过程中，云母槽定位精度较低且不能实现全自动化操作的实际问题，本文通过搭建实验平台、模拟试验论证，设计并实现了一种基于机器视觉的云母槽精确定位系统。该系统所设计的精确补偿算法能够有效提升对云母槽中心线的定位精度；通过对已有算法进行改进提升了系统的定位速率，进而提高整体工作效率；并通过设计防止误操作算法，预防操作不当造成严重的后果。在此基础上，设计了一种定位误差修正模型，通过该模型刻刀得以与云母槽对齐。实验结果表明，该系统具有较高的定位精度且稳定性较强，能有效提高电机整流子的加工速率，且可实现全自动化操作，具有很好的实际应用价值。

参考文献

- [1] Fakh B, Dienwiebel M. The structure of tribolayers at the commutator and brush interface: a case study of failed and non-failed DC motors[J]. *Tribology International*, 2015, **92**: 21–28.
- [2] Masahiro S, Yomei Y, Hideki C, et al. Rotor repair method and rotor repair apparatus: 2256226A1[P]. 2010-12-01.
- [3] Clark S W, Stevens D. induction motor rotor bar damage evaluation with magnetic field analysis[J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2016, **52**(2): 1469–1476.
- [4] Fortes M Z, Dos Santos C H R, Oliveira R F, et al. Fast flashover identification methodology on brushed DC

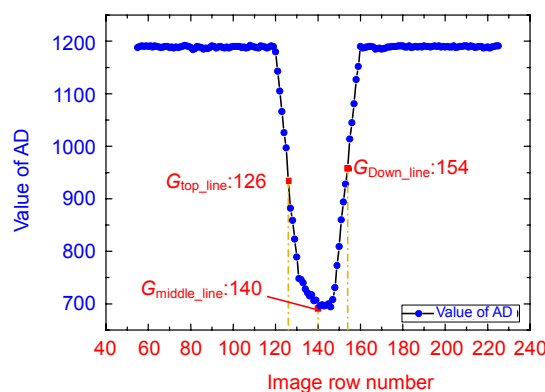
- machines[J]. *Wseas Transactions on Circuits and Systems*, 2013, **13**: 246–252.
- [5] He T T, Guo J Q, Li F, et al. Photoelectric tracking servo system[J]. *Information Technology*, 2013(8): 61–63.
何婷婷, 郭建强, 李芳, 等. 光电跟踪伺服系统的研究[J]. *信息技术*, 2013(8): 61–63.
- [6] Liu Z, Li Y B, Zhang H J, et al. Optical design for laser four-quadrant location system based on fresnel lens[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, **43**(9): 62–66, 71.
刘壮, 李英博, 张浩钧, 等. 菲涅尔透镜激光四象限定位系统光学设计[J]. *光电工程*, 2016, **43**(9): 62–66, 71.
- [7] Guan G H, Zhai W Z. Design of a commutator automatic slotting machine based on ccd camera[C]//*Proceedings of the 2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering*. Washington, DC, 2012, **3**: 689–693.
- [8] Isato M, Sawa K, Ueno T. Commutation phenomena and brush wear of dc motor at high speed rotation[J]. *IEICE Transactions on Electronics*, 2017(9): 716–722.
- [9] Zhang J H, Xu Y Y. Design of detection system of traction motor commutator based on computer vision[J]. *Advanced Materials Research*, 2012, **466-467**: 1290–1294.
- [10] Litovchenko V V, Kokorin D V, Nazarov D V. A mathematical model of a commutator traction motor[J]. *Russian Electrical Engineering*, 2014, **85**(8): 498–504.
- [11] Weyori B A, Boateng K O, Yeboah P K, et al. Design and implementation of the block matching hybrid median filter for noise removal in color images[J]. *International Journal of Innovative Computing Information & Control*, 2016, **12**(6): 255–263.
- [12] Liu A, Zhao Z Y, Zhang C Q, et al. Median filtering forensics in digital images based on frequency-domain features[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2017, **76**(21): 22119–22132.
- [13] Gonzalez R C, Woods R E. *Digital Image Processing*[M]. 3rd Ed. The USA, Pearson Education, 2011: 347–348.
- [14] Zhu W, Han J F, Chen P, et al. Adaptive median filter algorithm based on multi-stage noise detection[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2013, **40**(10): 63–69.
朱威, 韩巨峰, 陈朋, 等. 基于噪声点多级检测的自适应中值滤波算法[J]. *光电工程*, 2013, **40**(10): 63–69.
- [15] Aranda L A, Reviriego P, Maestro J A. Error detection technique for a median filter[J]. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2017, **64**(8): 2219–2226.

The precise positioning system of mica trough based on machine vision

Pan Yinsong^{1,2*}, Li Zhengying¹, Wang Lifang^{1,2}, Ding Huihui¹, Pu Chunyu¹

¹Key Laboratory of Optoelectronic Technique System of the Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

²City College of Science and Technology, Chongqing University, Chongqing 402167, China



Positioning results of mica slot's center line

Overview: In the process of using locomotive motor commutator, due to the copper brush constantly rubbing, the copper scraps accumulate in the mica under the action of long time. In this case, the boundary between the copper and the mica slot becomes blurred, thus the motor commutator needs to be repaired on a regular basis. A traditional method is to use a laser-modulated positioning mica slotting system to perform engraving of the mica slot. However, the system detects the location of the mica slot depending on the reflectance of the laser, which is so different between copper bars and mica pieces. It can only get the approximate position of its center line and often appear missing and wrong situation. Therefore, it is necessary to perform error compensation by manual verification before each cutting to avoid unnecessary damage to the motor commutator, and at the same time, this method makes the work efficiency low. In order to improve the positioning accuracy and efficiency, this paper proposes an accurate positioning method of mica trough based on machine vision, which can effectively overcome the difficulties in precise extraction of the mica groove edges belong to motor commutator. In every working cycle, the system utilizes CCD camera to capture the current motor commutator surface image, then transfers the picture to the system's numerical calculation module. Combing with the positioning error correction model constructed by the system, the self-designed precision compensation algorithm can accurately locate center line of the mica slot. After the positioning result transmitted to the main control unit, the servo system can control the burin to move to the designated position cutting the groove. When the above tasks are completed, the motor commutator can rotate into the next working cycle. The core part of the system is the precision compensation algorithm, which can precisely control each part of the center line positioning process of the mica slot, make precise positioning of the edge of the mica slot and avoid making the scratch mistaken for mica slot. Then finding out the correct location of the center line of the mica slot, the algorithm can also avoid the emergence of some extreme conditions to ensure the stable operation of the entire system. The experimental results show that the system can accurately calculate the midline position of the mica slot and control the positioning error of the knife between positive and negative 0.02 mm, which effectively improves the positioning accuracy and efficiency.

Citation: Pan Y S, Li Z Y, Wang L F, *et al.* The precise positioning system of mica trough based on machine vision[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(7): 170600

Supported by National Natural Science Fund (41371338) and Chongqing Fundamental and Frontier Research Program Fund (cstc2013jcyj A40005)

* E-mail: panys@cqu.edu.cn