

智能远距离激光切割控制系统设计与研究

杜勇¹, 吴军¹, 覃绍先¹, 罗鸣¹, 张志强^{2,3,5}, 曾庆影⁴

(1. 国网湖北省电力有限公司 检修公司, 湖北 武汉 430050; 2. 中国科学院光电研究院半导体泵浦激光工程中心天津分中心 研发中心, 天津 300304; 3. 中科和光(天津)应用激光技术研究所有限公司 研发部, 天津 300304; 4. 北京鑫金电科技有限公司 技术部, 北京 101100; 5. 天津大学 电气自动化与信息工程学院, 天津 300072)

摘要:随着人工智能技术的发展, 机器视觉与传统工业的结合应用越来越广泛。在电力铁塔安装作业过程中, 角钢预置孔位常出现错位, 需要在高空实施切割打孔作业。因激光切割角钢效率较高, 研制了一套适用于高空铁塔的扩孔切割设备可解决传统方法效率低的问题。通过视觉识别待切割孔, 确定待切割路径, 控制电机转动, 完成激光切割作业。经过试验, 所设计的控制系统能够满足激光扩孔切割要求。

关键词:机器视觉; 激光切割; 控制系统

中图分类号: TG485 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2020)01-0162-03

Research on Intelligent Remote Laser Cutting Control System and Its Design

DU Yong¹, WU Jun¹, QIN Shaoxian¹, LUO Ming¹, ZHANG Zhiqiang^{2,3,5}, ZENG Qingying⁴

(1. Maintenance Company, State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Wuhan 430050, China; 2. R & D Center, Tianjin Branch of Engineering Research Center for DPSSL, Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Tianjin 300304, China; 3. R & D department, HARGLO Applied Laser Technology Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300304, China; 4. Technology Department, Beijing XJD technology Co., Ltd., Beijing 101100, China; 5. School of Electrical and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: With the development of artificial intelligence technology, the combination of machine vision and traditional industry is applied more and more widely. In the installation process of power tower, the preset hole position of angle steel is often dislocated, so it needs cutting and punching at high altitude. Due to high efficiency of laser cutting angle steel, a set of reaming and cutting equipment suitable for high altitude iron tower is developed, which can be used to solve the problem of low efficiency of traditional methods. Through visual recognition of the hole to be cut, the path to be cut is determined, motor speed is controlled and laser cutting is completed. Through experiments, the designed control system meets the requirements of laser reaming and cutting.

Keywords: machine vision; laser cutting; control system

0 引言

智能制造技术已经引起广泛关注^[1]。激光切割具有切割速度快、切割效率高、切割面光滑、热影响区域小等优点, 已经得到广泛应用^[2-3]。高空铁塔在安装过程中, 会出现安装孔位错位的现象, 需要进行高空切割扩孔, 传统做法是工人带着切割设备在高空手工操作, 效率低, 难度大, 时间长, 且操作人员会面临安全问题。将激光切割应用到高空角钢扩孔切割中, 可解决以上问题, 激光器技术已经比较成熟, 但控制系统需要根据应用场景进行智能化设计, 从而达到提高效率、降低施工风险的目的。

采用机器视觉技术可实现智能化、自动化切割作业。机器视觉以计算机、相机、光源等硬件为基础, 通过图像处理, 代替人眼进行物体的识别^[4-5]。国外对机器视觉应用的研究较早, 且处于领先地位。如 NAGATOU T、CAN N、

MUSCHELLI J 等人将机器视觉用于生产线识别、焊点检测和 CT 图像识别等方面, 且取得很好的使用效果^[6-8]。国内对机器视觉应用的研究近几年发展较快, 应用范围也较广, 如零件表面质量检测、目标识别、路径规划等方面^[9]。

控制系统中采用机器视觉技术进行切割区域识别、切割路径规划, 上位机根据机器视觉给出的路径控制电机运动, 从而带动激光切割头完成切割动作。

1 目标场景

在电力铁塔安装过程中, 需要将角钢连接起来。一般采用螺栓连接, 但两角钢螺栓连接处的预置孔经常会出现错位, 如图 1 所示, 两个孔位未能对齐, 紧固螺栓无法穿过。为了实现螺栓穿过, 就要将错位的一侧角钢孔按照另一侧孔进行切割扩孔, 以达到螺栓穿过两角钢的目的。本文旨

基金项目: 国家电网总部科技项目(52153216000R)

第一作者简介: 杜勇(1973—), 男, 湖北黄冈人, 教授级高级工程师, 硕士, 长期从事超特高压输变电设备运行维护及科研工作。

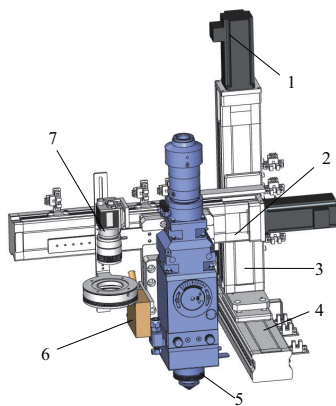
在设计一种智能远距离激光切割控制系统,以实现高空智能钢板切割扩孔作业,满足螺栓穿过两孔位,完成锁紧作业。



图1 两孔错位

2 硬件控制系统设计

硬件系统主要包括 PC 机、工业相机及光源、位移传感器、电机及驱动控制器,如图 2 所示。



1—电机及驱动控制器;2—x 轴;3—z 轴;4—y 轴;
5—激光切割头;6—位移传感器;7—工业相机及光源。

图2 硬件搭建示意图

工业相机是代替人眼用来做测量和判断的。通过数字图像摄取目标转换成图像信号,传送给专用的图像处理系统,图像系统对这些信号进行各种运算并抽取目标的特征。本系统中用来提取待切割工件的切割路径。光源采用环形光源,环形光源是与工业相机同轴安置的,与待测物体距离合适时,可大大减少阴影、提高对比度,实现大面积荧光照明。环形光源对检测高反射材料表面极佳,适合于角钢。

采用激光测距原理的位移传感器,精度达到了 0.01 mm,用来测定激光切割头与待切割角钢的距离,将距离信息发送给上位机,以控制电机,使得激光切割头到待切割位置保持一定的距离,保证切割质量。

电机及驱动控制器采用步进电机,此驱动控制器提供基于 CAN 总线控制,可以轻松实现多达 120 个节点的工控网络系统,可实现基于编码器的闭环控制。

此外控制系统还包括限位、故障报警等功能。

3 软件控制系统设计

3.1 控制系统功能要求

针对激光切割的具体要求,控制系统需满足以下 3 点要求:

- 1) 能够实现切割路径规划;
- 2) 能够给出激光切割头到待切割件的距离,并将距离信息传递给电机,从而控制激光切割头出光口与待加工件距离;
- 3) 能够实现三轴联动,完成插补运动。

3.2 控制系统工作流程设计

为了实现自动、精确地识别作业,上位机软件需要控制三维导轨的运动和激光器的出光,并通过工业相机传回的图像进行识别,自动转换坐标来进行切割作业。

在程序设计中,要求程序启动后,先进行视觉设备、激光设备、电机设备、传感器设备等相关设备的初始化和接入。基于程序的健壮性和操作的安全性考虑,在进行下一步操作前,设备状态的检查是必须的。设备状态正常接入后,通过视频展示窗口,引导客户通过界面操作电机去寻找目标孔位,待目标孔位进入识别区域后,进行图像识别操作,并在界面展现识别结果,便于下一步操作。

在确认视觉识别出的目标区域无问题后,程序会自动进行下一步的画圆操作。先按照顺时针方向确认起始点,通过激光位移传感器控制激光作业有效高度,控制电机的 PVT 模式进行画圆操作。在此期间,有任何异常,用户都可以用电机停止键来终止操作。在用户确认视觉识别效果后,之后的操作都是程序自动控制,只需要用户观察状况,必要时进行紧急停止操作即可。

具体流程设计如图 3 所示。

3.3 机器视觉程序

机器视觉程序采用 Microsoft Visual Studio 2015 环境,结合 OPENCV3.3.0 版本,来实现螺孔的识别以及切割点的查找和定位计算。

OpenCV 是一个基于 BSD 许可(开源)发行的跨平台计算机视觉库,可以运行在 Linux、Windows、Android 和 Mac OS 操作系统上。它轻量级而且高效率,由一系列 C 函数和少量 C++ 类构成,同时提供了 Python、Ruby、MATLAB 等语言的接口,可实现图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。

计算机视觉市场巨大而且持续增长,且这方面没有标准 API,而 OpenCV 致力于真实世界的实时应用,通过优化的 C 代码编写对其执行速度带来了可观的提升,并且可以通过购买 Intel 的 IPP 高性能多媒体函数库(integrated performance primitives)获得更快的处理速度。本文所述的机器视觉程序主要步骤如下:

- 1) 首先划定感兴趣区域,确保待切割孔位在区域之内;
- 2) 对原图进行拉普拉斯变换,增强图像边缘差异;
- 3) 进行膨胀操作,放大边缘区域;

- 4) 阈值分割,突出边缘;
- 5) 找出最大面积的原型,即现实中的上层钢板的孔位,此处得出的原型标记为圆 1;
- 6) 根据 5) 找出的孔位,在拉普拉斯变换图像基础上,进行阈值分割;
- 7) 找出轮廓,合并相近的轮廓,提取出最大的轮廓;
- 8) 通过轮廓得出拟合圆,此圆标记为圆 2,拟合出来的弧即为待切割弧,也是切割路径;

程序控制流程如图 3 所示,实现效果如图 4 所示,分割小图片下方数字对应上文中的算法步骤。

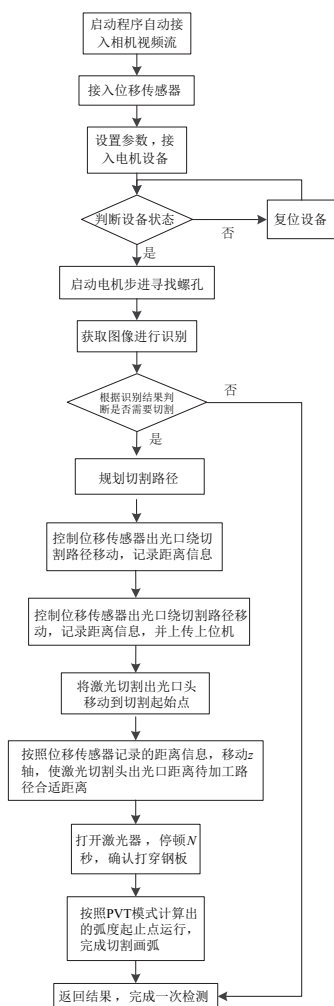


图 3 控制流程图

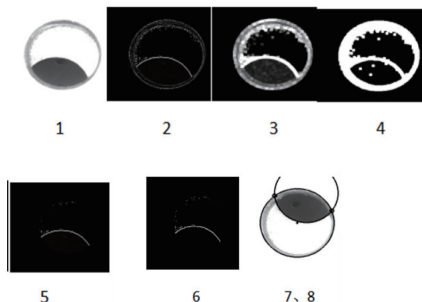


图 4 机器视觉算法步骤

3.4 电机程序

电机控制程序基于微软 .Net 平台,采用 C#语言进行编写。因为电机导轨在平面上是二维的,在已知半径和圆心的情况下,只能通过移动 x 轴和 y 轴来得出一个圆形。这就需要将一个圆分成 360 个节点或者 720 个节点或者 1 080 个节点来画圆,划分节点数越多,画出的圆越精细。当然也要看导轨电机能控制移动的最小精度。

取圆上任意一点 $Pos(x, y)$ 为坐标,设圆半径为 R ,下一点与圆心的直线与 Pos 与圆心的直线夹角为 θ 。从而可知, y 轴移动相对位置为 $R\sin(\theta)$ 。 x 轴位置为 $R-R\cos(\theta)$ 。从而得出 x 周步进距离为 $abs(x-x_1)$, y 轴步进位置为 $abs(y-y_1)$ 。为了精确控制,位置坐标采用 double 类型,传递给电机步进时采用 floor 函数向下取整。

3.5 控制系统用户软件设计

设计的用户界面如图 5 所示。

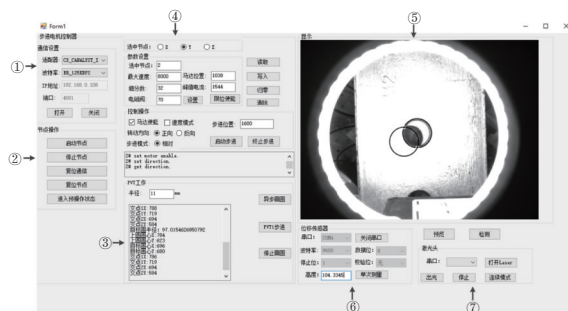


图 5 UI 界面

图 5 中:① 区为电机基本通讯参数设置区域;② 区为电机综合控制区,用于控制电机的基本操作,确保电机状态正常;③ 区为 PVT 模式控制区,用于结合图像识别的结果进行 PVT 模式画圆操作,其中,目标圆半径可以被调节;④ 区为电机位置模式控制区,用于引导用户找到螺孔,保证视觉算法获取到正常的图片;⑤ 区为图像展示区,采用高分辨率成像,方便用户识别孔位是否正常;⑥ 区为激光位移传感器控制区,用于展示激光位移传感器状态和数据;⑦ 区为激光设备控制区,到达切割区域后,通过控制激光器来进行切割。

4 控制系统实验测试

将 PC 置于切割现场 30 m 远处,用电线和信号线连接切割设备。通过控制软件控制三轴电机联动。在引导用户找到孔位后,经过若干次测试,确定了光源电压、识别距离、阈值分割等机器视觉参数,识别率可达 99% 以上。结合机器视觉识别结果,进行光学坐标和实际坐标转换,并联动电机。控制位移传感器出光口绕切割路径移动,记录距离信息。根据距离信息将激光切割头出光口移动到切割路径起始点上方 0.7 mm 处,按照识别的路径画弧。

设置的目标孔直径为 10.12 mm、15.06 mm、20.08 mm、25.04 mm,多次测试后发现,激光切割头路径的直径及测试结果如表 1 所示。

(下转第 172 页)

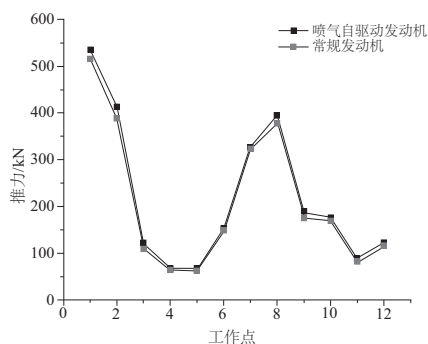


图 10 两种类型发动机推力对比

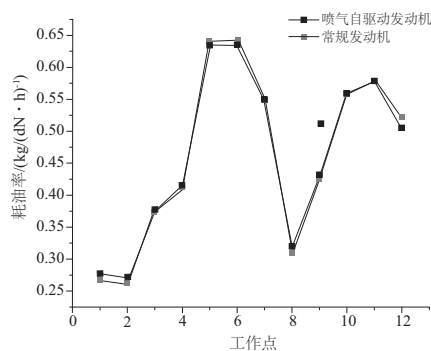


图 11 两种类型发动机耗油率对比

气自驱动发动机,解决未来涡扇发动机涵道比不断增大带来的部件转速不匹配问题。通过对带喷气自驱动风扇的发动机进行总体性能仿真,并与常规的双转子分开排气发动机对比,得出以下结论:

1) 采用喷气自驱动风扇后,发动机的推力及耗油率变化不大;

2) 由于喷气自驱动风扇发动机中低压涡轮仅需要驱动增压级做功,可以大大减少低压涡轮的级数,减轻发动机质量,进一步提升了发动机的推重比。

参考文献:

- [1] 刘大响,金捷,彭友梅,等. 大型飞机发动机的发展现状和关键技术分析[J]. 航空动力学报, 2008, 23(6): 976-980.
- [2] 姜澄宇,宋笔锋. 从国外民机重大研究计划看我国大型民机发展的关键技术[J]. 航空制造技术, 2008(1): 28-33.
- [3] 沈锡钢,齐晓雪,郝勇. 大涵道比涡扇发动机发展研究[J]. 航空发动机, 2013, 39(6): 1-5.
- [4] ASTLEY R J, SUGIMOTO R, MUSTAFI P. Computational aero-acoustics for fan duct propagation and radiation. Current status and application to turbofan liner optimisation [J]. Journal of Sound and Vibration, 2011, 330(16): 3832-3845.
- [5] 张德志,张锦绣,王凤. 齿轮驱动涡扇发动机结构设计特点分析[J]. 航空发动机, 2011, 37(4): 1-4.
- [6] 李毅波,马东立,牛凌宇. 桨尖喷气驱动旋翼设计中的功率匹配方法[J]. 航空动力学报, 2011, 26(8): 1787-1793.

4 结语

本文通过喷气驱动旋翼的原理提出了一种新型的喷

收稿日期:2018-01-15

(上接第 164 页)

表 1 测试结果		单位:mm
目标孔直径	激光切割头路径弧直径	误差
10.12	10.09	-0.03
15.06	15.01	-0.05
20.08	20.12	0.04
25.04	25.09	0.05

由表 1 可见,激光切割头走过的切割路径弧直径误差在 ± 0.05 mm 以内,误差较小,完全满足激光切割需求。

5 结语

实现了通过机器视觉技术识别规划切割路径;实现了激光切割头按照切割路径进行运动;实现了三轴联动、插补运动;实现了远距离控制。经测试,激光切割头智能化运动误差在 ± 0.05 mm 以内,效果较好,可满足下一步将要进行的激光切割要求。本系统智能化程度高,为激光设备或者其他加工设备实现智能化操作提供了参考。

参考文献:

- [1] 黄筱调,夏长久,孙守利. 智能制造与先进数控技术[J]. 机械制造与自动化, 2018, 47(1): 1-6.
- [2] 欧长劲,秦才宝,姜献峰,等. 非垂直激光切割能量分布研

究[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(4): 240-247.

- [3] 张博,齐蓉,林辉. 激光切割永磁直线伺服系统的反演滑模控制[J]. 电工技术学报, 2018, 33(3): 642-651.
- [4] 任永强,杜瑞,李军. 基于机器视觉的差速器卡簧装配防错检测研究[J]. 制造技术与机床, 2018(1): 30-34.
- [5] CUBERO S, ALEIXOS N, MOLTÓ E, et al. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables [J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(4): 487-504.
- [6] NAGATO T, KOEZUKA T. Automatic generation of image-processing programs for production lines [J]. Fujitsu Sci. Tech. J, 2016, 52(1): 27-33.
- [7] CAI N, LIN J, YE Q, et al. A new IC solder joint inspection method for an automatic optical inspection system based on an improved visual background extraction algorithm [J]. IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology, 2016, 6(1): 161-172.
- [8] MUSCHELLI J, Ullman N L, Mould W A, et al. Validated automatic brain extraction of head CT images [J]. Neuroimage, 2015, 114: 379-385.
- [9] 牟新刚,蔡逸超,周晓,等. 基于机器视觉的筒子纱缺陷在线检测系统[J]. 纺织学报, 2018(1): 139-145.

收稿日期:2018-11-19