

焊接机器人实时跟踪系统传感器设计技术研究

李雁斌 沙吉乐 叶声华

(天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 焊接机器人实时跟踪系统基于视觉测量技术, 可实现机器人焊接过程中根据加工件的位置和形状变化实时进行焊接路径的调整。系统设计中, 传感器设计技术是关键技术之一, 它的性能直接影响跟踪系统的精度和稳定性。本文采用主动式视觉检测技术, 利用多光条结构光, 配合 130 万像素的高性能 CMOS 图像传感器, 构建了实时采集的摄像单元; 利用 FPGA 和 DSP 构建了图像处理单元, 实现数据的实时处理和实时传输。实验表明, 本传感器的测量精度达到 0.3mm, 并能够实现 10Mbps 的数据传输率, 对提高工业机器人焊接质量有重要意义。

关键词: 视觉跟踪 机器人焊接 视觉传感器

Study on Sensor Design Technique for Real-time Robotic Welding Tracking System

Li Yanbin Sha Jile Ye Shenghua

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology & Instruments Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract: Based on visual measurement techniques, the real-time robotic welding tracking system achieves real-time adjustment for robotic welding according to the position and shape changes of a workpiece. In system design, the sensor design technique is so important that its performance directly affects the precision and stability of the tracking system. Through initiative visual measurement technology, a camera unit for real-time sampling is built with multiple-strip structured light and a high-performance CMOS image sensor including 1.3 million pixels; to realize real-time data process and transmission, an image process unit is built with FPGA and DSP. Experiments show that the precision of this sensor reaches 0.3mm, and band rate comes up to 10Mbps, which effectively improves robot welding quality.

Keywords: Visual servo, robot welding, visual sensor.

随着先进制造技术的发展, 实现焊接产品制造的自动化、柔性化与智能化已成为必然趋势。焊接机器人由于具有通用性强、工作可靠的优点, 在焊接生产中采用机器人技术, 可以提高生产率、改善劳动条件、稳定和保证焊接质量、实现小批量产品的焊接自动化^[1]。目前, 采用机器人焊接已成为焊接自动化技术的应用趋势。

传统焊接机器人采用示教再现型焊接技术, 该技术不具备对环境的感知以及适应焊接条件变化的能力。尤其在应用越来越广泛的弧焊过程中, 焊接条件经常变化, 基于示教再现型焊接技术更加凸显它的不足和局限性。消除或减小焊接条件变化等不确定性因素对焊接质量的影响, 成为影响现代机器人焊接技术发展的关键技术之一^[2]。本文基于视觉测量原理, 采用主动式视觉测量技术, 配合高速图像处理 and 传输技术构建跟踪传感器, 实现焊接工作空间位姿信息的实时测量, 实时引导机器人对焊缝

的可靠、精确跟踪。

1 焊接机器人系统的组成

焊接机器人系统的组成如图1所示。首先, 设置和显示单元将焊缝形状、图像处理参数、传感器参数等数据通过RS485总线送到中央处理器, 中央处理器根据这些参数通过以太网控制视觉传感器进行采集; 然后, 视觉传感器将采集到的焊缝形貌和焊缝相对焊接头的姿态等信息通过以太网实时传输到中央控制器; 接着, 中央控制器根据收到的数据计算出焊接头相对于焊缝的位置补偿量, 并通过以太网或者串口传输误差控制和基本命令到机器人控制器; 最后, 机器人控制器根据补偿量引导焊接头实现对焊缝的实时跟踪^[3]。系统中, 视觉传感器是核心部件, 直接影响系统的工作性能。

2 视觉传感器设计

据要求定制, 根据本测量系统的需要, 将工作距离设定在100mm, 深度方向的测量范围设定在40mm; 图像传感器阵列能够实现每秒15帧SXGA采样率格式的图像采集、处理和传输, 通过SCCB还能实现曝光控制、白噪声平衡、饱和度和色调的调节以及抑制噪声的功能。此外, OmniVision公司的芯片采用独有的传感器技术来减少和消除普通光源和电源对图像的干扰, 从而提供一个稳定清晰的彩色图像^[6]。

如图3所示为OV9650图像传感器发送一场图像信号的时序图。图中, VSYNC为场同步信号, HREF为行同步信号, D[9:0]为输出数字视频信号。其中, VSYNC和HREF均为周期信号, 一个周期分别代表一场信号和一行信号的输出。OV9650的输入时钟典型值为24MHz, 对应的内部像素时钟 t_{CLK} 为42ns^[7]。对于原始的RGB图像, t_{F} 等于 t_{CLK} , 于是输出一场信号的时间为 $1050 \times t_{\text{LINE}} = 1050 \times 1520 \times t_{\text{F}} = 67\text{ms}$; 而

对于YUV/RGB格式的图像, t_{F} 等于2倍的 t_{CLK} , 于是输出一场信号的时间为 $1050 \times t_{\text{LINE}} = 1050 \times 1520 \times t_{\text{F}} = 134\text{ms}$; 因此, 该芯片每秒钟可以输出约7帧YUV/RGB格式的图像信号, 即能够满足每秒钟进行6次测量的设计要求。

2.2 图像处理单元

为实现焊接过程中的实时引导, 必须具有较快的测量速度, 而图像处理速度则是影响测量速度的关键。如图4所示为本系统实现高速图像处理的电路原理图, 采用Xilinx公司的SPARTAN-3 FPGA芯片实现图像的高速采集和存储控制, 并配以大容量的RAM作为数据存储器。同时, 为完成对数据的高速处理和传输, 利用TI公司的高速DSP实现相关的图像处理算法, 并在通讯部分利用DSP配合以太网接口芯片构建了TCP/IP接口, 实现了10Mbps的高速数据传输。

表1 V型槽几何尺寸测量结果

V型槽 (标准值)	槽宽 (最大值)	槽宽 (最小值)	槽深 (最大值)	槽深 (最小值)
10mm	10.194mm	9.864mm	10.251mm	9.812mm
15mm	15.165mm	14.855mm	15.241mm	14.798mm
20mm	20.148mm	19.841mm	20.237mm	19.805mm
25mm	25.168mm	24.873mm	25.248mm	24.817mm

图像处理单元工作流程: 首先, OV9650摄像机芯片采集一幅图像, 采集完成后通知FPGA接收; 然后, FPGA根据OV9650提供的同步信号获得图像信号, 将采集的数据保存在RAM中, 并通知DSP完成一次采集。最后, DSP对RAM中的数据进行分析和处理, 并通过以太网和RS485将结果发出, 对机器人进行控制以及相关显示。如次循环往复, 即实现图像的实时采集, 处理和传输。

3 实验结果及数据分析

3.1 实验方法

实验所用靶材为一套有V行槽的标准量块, 其槽宽和槽深均由一系列标准值构成, 分成10mm、15mm、20mm和25mm四组。首先, 将量块固定在测量平台上, 测量平台经过精密调节, 使量块的V型槽位于视觉传感器的工作距离范围内, 并大致位于视场的中心。通过量块位置和姿态的标定过程, 获

得量块与视觉传感器之间的关系。实验过程中, 保持量块的位置和姿态不变。

在实验过程中, 视觉传感器对量块的V型槽的5个不同位置同时进行多次采集, 以获得V型槽的宽度和深度信息。随后, 依次对另外三组量块在相同的实验条件下进行数据采集。

3.2 实验结果

采集获得的原始数据经过滤波、特征识别、坐标系转换等一系列算法处理后, 得出V型槽的几何尺寸。表1列出了四组槽宽和槽深的测量值, 它们分别是上述四组量块在V型槽的5个不同位置处测量结果的最大值和最小值。

3.3 结果分析

为了测试整个系统在宽度和深度方向的测量精度, 实验对V型槽的宽度和深度分别进行了测量。从表1的结果中可以看出, 整个测量系统在V型槽的宽度方向和深度方向的测量精度都达到了0.3mm。

另外,系统在宽度方向的精度明显高于其在深度方向的精度,这是由于深度方向的信息是通过三角法测距原理得到的,而被测物体表面特性对传感器的输出有一定的影响。另外,反射光较强的物体测量精度较高,反射光较弱的物体测量精度较差,表面粗糙度、几何形状及颜色不一致时,也会给输出带来一定影响^[8]。实验测量块表面十分光滑,反光较好,然而V型槽由于其几何形状,导致光线的

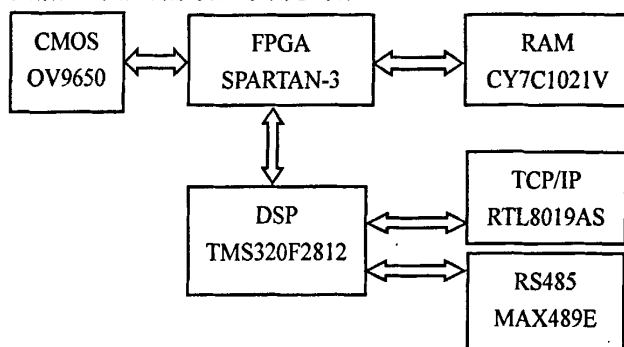


图4 电路原理框图

散射光线较弱且不均匀,影响了系统在深度方向的测量精度。

4 结论

本文基于视觉测量原理,采用主动式视觉测量技术,配合高速图像处理和传输技术构建了跟踪视觉传感器,该传感器可实现焊接工件空间位姿信息的实时测量,实时引导机器人对焊缝的可靠、精确跟踪。

- 1) 视觉传感器设计工作距离为100mm,深度方向测量范围为40mm,图像采集和处理速度达到6次每秒,可测量30个焊缝截面。
- 2) 采用FPGA实现图像数据的高速采集和存储控制,利用DSP对数据进行分析和处理,并配合以太网接口芯片构建TCP/IP接口,成功地实现了对图像数据的实时采集、实时处理和实时传输。
- 3) 整个系统的测量精度优于0.3mm,对引导焊接机器人跟踪焊缝运动,提高焊接质量有着重要意义。

参考文献

- [1] 林尚扬,陈善本等. 焊接机器人及其应用[M]. 机械

工业出版社,2000,8.

- [2] 吴林,陈善本等. 智能化焊接技术[M]. 国防工业出版社,2000,7.
- [3] 陈善本,吴林. 我国机器人焊接技术研究与应用概况[J]. 焊接,1997,11/12: 2-5
- [4] 陈善本,吴林等. 机器人焊接空间焊缝质量智能控制技术及其系统研究[M]. 国家自然科学基金重点项目技术总结报告,2001.6.

- [5] 杜志俊 工业机器人的应用及发展趋势 机械工程师.2002(5).-8-10
- [6] 张效祖 工业机器人的现状与发展趋势 世界制造技术与装备市场.2004(5).-33-36
- [7] 朱浩翔 工业机器人及其应用 装备机械. 2003 (4). -11-12
- [8] 杨化书 曲新峰 工业机器人技术的应用及发展黄河水利职业技术学报.2004, 16

作者简介

李雁斌:男,1983年出生,天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室硕士研究生。主要从事视觉检测技术方面的研究,主要包括大尺寸物体空间点测量,如汽车白车身视觉检测和三维自由曲面的视觉测量等。

作者：[李雁斌](#)，[沙吉乐](#)，[叶声华](#)

作者单位：[天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室](#), 天津, 300072

相似文献(10条)

1. 学位论文 [黄松涛](#) [球罐焊接机器人视觉跟踪技术的研究](#) 2003

在研究基于线阵CCD视觉传感器跟踪的全位置球罐焊接机器人的基础上提出了相应的基于面阵CCD视觉传感器跟踪的试验用球罐焊接机器人的方案,对局部加权散布图修正LOWESS方法进行了深入研究,提出了一种基于LOWESS方法的直线拟合方法,同时运用分形理论提出了一种检测未焊坡口的方法.比较和研究了图象的恢复与重建、图象增强、图象的二值化、边界检测、边缘提取中的不同方法;并运用维纳自适应滤波方法、直方图均衡化增强技术、LOWESS方法、Otsu阈值化方法、Hough变换等提出了一种基于图象分割,以Hough变换为基础的对已焊坡口的检测方法.研究轨迹预估控制焊缝跟踪方法来避免焊缝跟踪中的“蛇”形轨迹.最后基于以上的方法和理论,对球罐焊接机器人视觉跟踪系统控制方面的多种设计方案和算法进行了编程实现和测试,并对最后确定的算法进行了多次优化.

2. 期刊论文 [焦向东](#),[蒋力培](#),[薛龙](#),[李明利](#),[王军波](#),[孙振国](#),[陈强](#) [基于视觉跟踪的大型容器焊接机器人的研制](#) - [机械科学与技术](#) 2003, 22(1)

研制了一种基于CCD视觉焊接轨迹跟踪技术的无导轨焊接机器人.该机器人由新颖的CCD视觉传感器来实时检测机器人行走机构与焊枪的跟踪位置偏差量,并据此由微机控制系统实现对机器人行走机构与焊枪的二级自动跟踪.该机器人采用永磁式柔性磁轮机构作为支持行走单元,使焊接机器人具有了节省导轨、轨迹适应性强的优点.焊接工艺评定试验结果表明,此焊接机器人自动跟踪精度高,焊缝质量好,工作稳定可靠.

3. 学位论文 [崔富强](#) [机器视觉在焊接机器人上的应用研究](#) 2005

随着电子计算机科学(包括大规模集成电路、应用软件、计算方法)、图像处理、光电技术、模式识别技术与理论的迅速发展,机器视觉的实际研究与应用日益得到重视与瞩目,并不断在许多领域取得初步性的成果.本文以湖大三佳模具公司焊接机器人作为研究对象,实现其焊接自动化为目的,重点研究了机器视觉实现焊缝自动跟踪,在已实现焊接机器人电弧跟踪的基础上,提出了一种新型的基于视觉跟踪的实现方法,该方法结构简单,精确度及智能化程度高.

本文首先阐述了该焊接机器人的系统结构,设计了焊接机器人和示教盒的串行通信结构.在获取有关焊缝图像方面,根据结构光三角测量原理,我们采用线结构光视觉传感器获取汽车覆盖件模具焊缝图像,并根据摄像机成像原理建立了线结构光传感器的跟踪模型及其标定方法.

在焊缝结构光图像处理方面,提出了一套针对该焊缝的有效的快速的图像处理及识别过程,在图像滤波方法中,根据系统实时性要求,采用LOG及中值滤波相结合的方法,并提出了改进的快速的的中值滤波方法.在边缘检测及直线提取中,我们采用了Roberts和Hough变换较好的处理方法,最后提取焊缝信息直线后,可以方便地求出焊缝中心位置坐标.

在整个系统的过程控制分析中,由于焊接过程是一个高度非线性、强耦合及时变性的复杂过程,难以建立起精确的数学模型,为此我们把模糊控制引入到焊缝自动跟踪中,提出了应用于该视觉跟踪的Fuzzy-P控制器,最后通过整个系统的实验分析了误差及其产生的原因.

4. 会议论文 [吴仁育](#),[王国栋](#),[王秀英](#) [焊接机器人视觉跟踪系统研究](#)

5. 学位论文 [王麟琨](#) [基于工业焊接机器人的视觉伺服控制研究](#) 2005

焊接机器人是在工业机器人基础上发展起来的先进焊接设备,能够提高焊接质量和生产率,改善工人劳动条件.目前,以示教-再现工作方式为主的焊接机器人缺乏灵活性,也不适用于复杂工件,无法满足工业生产的需要.因此,研制基于视觉传感器并具有焊缝自动跟踪能力的焊接机器人具有广阔的应用前景和重要研究意义,本文针对焊接机器人视觉控制系统的设计和视觉伺服控制算法开展了研究工作.

第一,本文首先总结了机器人视觉伺服控制的结构和主要研究内容,比较了几种主要的视觉伺服方法,分析了视觉伺服控制所面临的主要问题,详细阐述了近期提出的一些解决方法.其次,回顾了焊接机器人的发展过程以及当前的研究热点并对今后的发展趋势进行了展望.

第二,设计了焊接机器人的视觉传感器系统,提出了有效的结构光参数标定算法.针对六自由度工业机器人,提出一种多层次结构的控制框架,并在此框架基础上设计并开发了弧焊机器人控制系统和多机器人视觉控制系统.

第三,提出了强噪声干扰环境下焊缝图像特征抽取算法和焊缝参数估计算法.图像特征抽取算法由目标区域确定算法、基于自适应阈值的去噪算法以及基于数据集分割的特征抽取算法组成.焊缝参数估计算法由直线焊缝方向的鲁棒拟合算法、基于RANSAC方法的焊件法线估计算法以及局部加权的曲线焊缝方向拟合算法组成.

第四,针对六自由度焊接机器人跟踪直线焊缝过程中存在的问题,本文提出了一种初始姿态自调整算法和混合的视觉伺服控制算法.初始姿态自调整算法通过建立目标坐标系和当前工具坐标系,计算需要调整的运动量.混合的视觉伺服控制算法采用基于位置的视觉伺服控制使焊枪沿焊缝方向运动,采用基于图像的视觉伺服控制来消除图像偏差.

第五,提出了曲线焊缝跟踪的视觉伺服协同控制方法,设计了一种控制量论域动态确定的双层模糊视觉伺服控制器,在保证焊枪运动准确的同时,保证视觉跟踪过程中图像特征处在视场有效范围内.为了准确确定控制量论域,建立了特征点的数学模型,并在此基础上设计了带模型动态补偿的Kalman滤波器以实现特征坐标的准确预测.

第六,针对工业焊接小车执行折线焊缝视觉跟踪所面临的主要问题,本文提出了自适应视觉伺服控制结构,以提高跟踪精度和鲁棒性.这种自适应结构在线检测焊缝方向,并能够在焊缝方向发生变化时对控制参数进行相应的调整.为了实现该控制结构,建立了视觉特征的控制模型,设计了错误数据的检测算法、焊缝方向变化检测算法、参考像素坐标调整算法及混合结构的视觉伺服控制算法.

最后,本文对所取得的研究成果进行了总结,并指出需继续开展的工作.

6. 学位论文 [王文建](#) [基于机器视觉的弧焊跟踪控制系统研究](#) 2008

弧焊跟踪控制系统是广州电视塔自动焊接机器人的前期研究工作.本系统主要有三个组成部分:图像采集系统、图像处理系统和运动控制系统.

图像采集系统采用激光结构光作为主动光源,有效地提高了图像采集的信噪比.在综合比较处理效果和速度后,选用高斯滤波减弱噪声的影响.另外,通过镜头前放置窄带滤光片,焊炬与摄像机之间放置遮光板,在削弱弧光影响的同时可以很好保留激光条纹的信息.本文还通过彩色摄像机和彩色图像卡采集图像,在把24位彩色图像转化为8位灰度图像时,只提取红色分量,进一步把特定波长的光放大,削弱其它波长的光.

图像处理系统的流程为:阈值变换,边缘提取,提取特征点位置.通过阈值变换,在把信号不太强的噪声彻底消除,同时保留激光条纹信息.在比较几种常见边缘检测算子后,对其效果和实时性做了实验,选定数学形态学方法为本系统的边缘检测算法.提取特征点时,进一步加强系统的容错能力,提取水平段位置信息时,采用黑色像素累加值的办法,准确定位条纹位置.

运动控制系统采用技术成熟的运动控制卡为主要控制部件,可以达到系统的精度要求,同时加快了系统的开发速度.选用运动控制卡的直线插补模式,用直线段来拟合焊缝轨迹.在获取焊接点前方一定距离全部的位置信息后,用直线插补的方法实现跟踪.

此弧焊跟踪控制系统以工控机为核心,以图像采集及处理为手段,用交流伺服电机来控制焊炬与焊缝的相对位置.本系统可以准确地识别焊缝特征并提取足够的信息,实时跟踪焊缝.

7. 期刊论文 [贾小刚](#),[JIA Xiao-gang](#) [焊接机器人视觉焊缝跟踪系统分析](#) - [机械设计与制造](#) 2009, ""(5)

分析了一套焊接机器人视觉焊缝跟踪系统的总体构成.首先简述了焊接机器人及跟踪系统的总体构成,分析了机器人视觉系统寻找焊缝位置的视觉处理的动作流程,并对其重要的步骤进行了详细的描述,重点介绍了机器人依照输入偏差与示教轨迹叠加跟踪真实焊缝的控制过程.最后使用Matlab软件仿真3关节平面机器人的跟踪焊缝的运动.

8. 学位论文 程世东 机器视觉在焊接自动化系统中的应用研究 2008

焊缝跟踪技术是焊接制造业中的重要课题。本文主要研究了机器视觉及图像处理技术在自动焊接机器人视觉跟踪技术中的应用,设计了一套以CCD摄像机和图像采集卡为核心的埋弧焊焊缝跟踪传感系统。

为了在工业环境中实现对焊接过程中的焊缝等特征信息进行检测,编制出在Delphi环境下对CCD采集到的图像进行处理的软件,主要内容有噪声去除、边缘检测、图像增强、正交变换、图像编码、图像分析等。在进行图像特征提取过程中,引入多线程技术,保证了图像特征提取的完整性,为算法在自动焊接过程中的应用提供了良好的条件。

本文采用Sobel边缘检测算子与递归的二值图像连通域像素标记算法并结合图像阈值整定对焊缝视频图像进行处理的方法。现场实验表明,该算法可以满足埋弧焊焊接生产现场实时处理图像要求。通过实验分析得出:有LED光源时,坡口与钢板灰度比值在(0.6~0.9)范围,据此可以准确的计算出焊缝边缘。识别出焊缝左右边缘后即可计算出焊缝中心线,从而为下一步实现对自动焊接机器人的控制提供了可靠的数据依据。

9. 期刊论文 张龙华. ZHANG Long-hua 焊接机器人在现代工业生产中的应用 -电焊机2009, 39(4)

以七种典型的机器人系统来介绍机器人控制系统、多机器人协调控制技术、初始点寻位技术、电弧跟踪技术、激光视觉跟踪技术和机器人弧焊工艺,并论述了焊接机器人技术的应用现状,以此来展望焊接机器人技术发展的主要方向。

10. 学位论文 孙丽云 管道自动焊接视觉跟踪系统的图像处理技术研究 2005

本文主要研究了自动焊接机器人视觉跟踪技术中的核心技术——图像处理技术。图像处理过程分为多步,每步图像处理算法的选择对图像处理结果很关键。本论文在经典图像处理方法的基础上对其用法进行了创新,采用正交实验的方法将图像处理方法结合起来。正交实验的方法在图像处理过程中的运用为图像处理方法的选择以及几种图像处理方法的组合提供了理论依据,并且可以通过最少的工作量找到最佳的图像处理方案。这样既节省了图像处理时间,又得到了良好的图像处理效果。

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_6204184.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 13dbd0b5-8c34-410d-97c9-9df2011949e9

下载时间: 2010年9月15日