

## 三维扫描图像光带中心线提取的 FPGA 实现

姚文达, 田庆国, 陈兴梧

(天津大学 精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

**摘要:** 结合三维扫描系统, 设计了基于 FPGA 的光带中心线实时处理系统, 采用列扫描梯度质心法, 以硬件的形式实现了对光带中心线的实时、快速、准确提取, 并将处理系统应用于三维扫描领域进行了实验, 所得结果真实、有效, 满足对 30 帧/s 的图像数据进行实时提取的要求。

**关键词:** FPGA; 中心线提取; 三维扫描

**中图分类号:** TP391.41

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-024X(2010)03-0050-03

### Optical band centerline extraction in 3D scanner image based on FPGA

YAO Wen-da, TIAN Qing-guo, CHEN Xing-wu

(School of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Combining with 3D scanner, the optical band centerline extraction system based on FPGA is designed by using gradient centroid algorithm, the real-time fast and accurate centerline extraction is achieved in hardware. The application of system in 3D scanner proves the correctness of the system. The centerline extraction system can meet the needs of real-time extraction in 30 Frames per second.

**Key words:** FPGA; centerline extraction; 3D scanner

随着科学技术的发展和工艺水平的提高, 可编程逻辑器件的片内资源不断扩充, 使其在图像实时处理领域中的应用有了广阔的空间。FPGA 应用于实时信号处理和图像处理, 或作为单独的处理单元, 或与其他 CPU 联合使用, 都取得了显著的成果。胡亮等<sup>[1]</sup>为了解决钢板表面缺陷视觉检测系统中图像处理的瓶颈问题, 采用基于 FPGA 的嵌入式处理系统完成大数据量、实时、在线的处理任务, 从而满足高速、宽幅、高分辨率的检测要求。江洁等<sup>[2]</sup>提出了一种基于 Steger 算法的串并结合的处理结构, 使得光条纹中心提取速度得到了提升, 并进一步给出了基于 FPGA 的实现方法, 提取精度达到了亚像素级。鲍建周等<sup>[3]</sup>以图像的重心计算和 Hough 变换为例, 设计了基于 FPGA 的算法, 并采用 VHDL 语言, 将算法实际应用于磨损钢轨的断面轮廓检测。段雷等<sup>[4]</sup>将 FPGA 作为整个系统的时序控制中心和数据交换桥梁, 而且能够实现对底层的信号快速预处理。本文结合三维扫描系统的特点, 将以

FPGA 为核心的实时处理系统应用于三维扫描系统中, 将图像的采集过程和处理过程结合起来, 并在 FPGA 芯片上实现了基于梯度质心算法的三维扫描图像光带中心线的快速实时提取。

### 1 三维扫描图像光带中心线提取原理

实际采集得到光带位图如图 1 所示。在 1 幅图像中, 设光带中心线坐标为  $(X_z, Y_z)$ , 以左上角第 1 个像素为坐标  $(0, 0)$ , 以右下角最后 1 个像素为坐标  $(719, 479)$ , 图中每个像素点  $(X_i, Y_j)$  的亮度值为  $B_{ij}$ 。图 1 中, 对应每一个  $X_z = X_i$ , 在每一列中对亮度值  $B_{ij}$  进行检测, 分别得到光带的上下边界, 并在上下边界中间的区域应用质心法以  $B_{ij}$  为权值, 加权平均后得到  $Y_z$ 。

本设计采用逐列扫描、遍历图像中每一列的方法来进行光带中心线坐标的提取, 得到光带中心线的坐标  $(X_z, Y_z)$ , 并将所得坐标上传到计算机中。

收稿日期: 2009-12-24 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60277009); 天津市科技攻关培育资助项目(05YFGPX05000)

作者简介: 姚文达(1984—), 男, 硕士。

通讯作者: 田庆国(1973—), 男, 博士, 讲师。E-mail: tianqingguo@tju.edu.cn

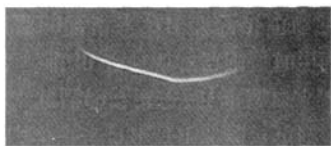


图1 三维扫描仪采集得到的图像  
Fig.1 Images obtained by 3D scanner

## 2 系统硬件设计

图2为光带中心线实时提取系统硬件设计框图。

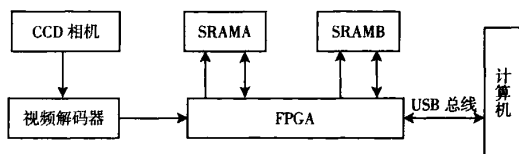


图2 系统硬件框图  
Fig.2 System hardware block diagram

整个系统主要由4个部分组成:

(1) 采集部分, 主要由视频解码装置来担任, 将CCD所输出的模拟信号转化为数字信号, 并将全电视信号中的同步信号解码出来, 供其他模块使用。

(2) 存储部分, 完成图像数据的顺序存储, 为后续的质心法求光带中心线坐标提供方便, 本文中存储部分使用SRAM静态存储器来完成设计功能。

(3) 控制和处理部分完全, 在FPGA内部设计完成, 该部分分成了若干模块, 这些模块相互配合共同实现控制和处理任务。主要包括配置视频解码器、完成对图像的列扫描、设定阈值、提取光带中心线坐标和控制数据上传。

(4) 数据上传部分, 以USB2.0作为计算机与系统的通信接口完成数据的实时上传。

系统开始工作后, CCD相机所发出的模拟信号将直接送入视频采集部分中的视频解码装置, 视频解码器将完成由模拟信号到数字信号的转换, 解出相应的同步信息, 作为其他部分的通信和控制信号, 同时被测物体图像的亮度信息将在数据线上输出, 并分奇、偶两场完成一帧图像的传送; 控制和处理部分将对视频解码芯片所输出的同步信号进行检测, 当有效数据到来时, FPGA将选通SRAMA, 按照图3所示的交叉存储方式, 完成第1帧图像的顺序存储, 当第2帧图像到来后, 选通SRAMB, 以同样的方式完成第2帧图像的顺序存储; 同时, 在第2帧图像存储期间, FPGA将SRAMA中的数据取出, 经内部的处理模块处理后得到图像光带中心线坐标, 最后由上传模块将得到的数

万方数据

据上传至计算机, 并等待下一帧图像有效数据的到来, 按照相同的步骤进行处理和上传。

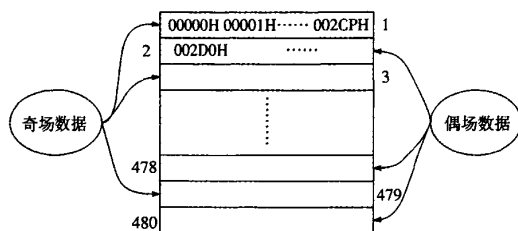


图3 交叉存储工作方式  
Fig.3 Way of cross-store

## 3 梯度质心算法的Verilog实现

梯度质心算法流程图如图4所示。

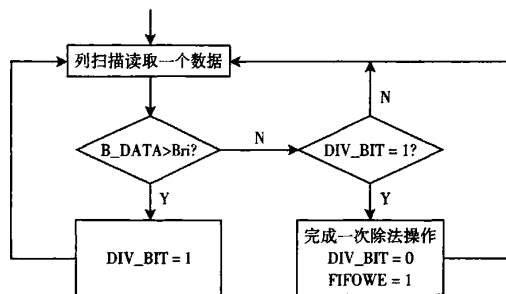


图4 梯度质心算法流程图  
Fig.4 Centroid algorithm map

由图4可见, FPGA在时钟有效时, 以列扫描的方式读出一帧数据, 并将读出的亮度值与所设定的阈值进行比较; 当数据亮度小于阈值时, 判断数据有效位DIV\_BIT, 若DIV\_BIT = 0, 则读取下一个数据, 直到亮度大于阈值的像素到来, FPGA会将DIV\_BIT位置1, 并将亮度值B\_DATA和相应的图像纵坐标Y送入运算模块, 如图5所示。

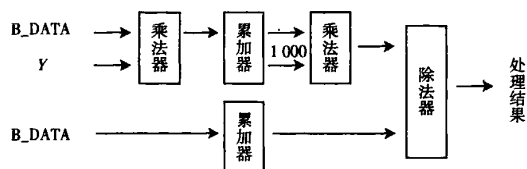


图5 运算模块处理框图  
Fig.5 Computing processing block diagram

为了满足所提取光带中心线纵坐标的精度要求, 运算模块将亮度值与图像纵坐标相乘并累加后, 扩大1000倍, 送到除法器被除数的位置, 同时将亮度数值

累加后,送到除法器除数的位置,等待除法操作开始指令.在下一个小于阈值的像素到来之后,FPGA 控制运算模块完成一次除法操作,得到图像中与  $X_i$  相对应的纵坐标  $Y_i$ ,并将 FIFO 写有效位 FIFOWE 置 1,处理结果会在下一个时钟有效沿存入 FIFO 中等待上传,同时数据有效位 DIV\_BIT 清 0,等待下一串大于阈值的码流到来.当完成一帧数据的处理后,FPGA 将以同样方式在 RAMB 中取出下一帧数据并处理,同时将新数据存入 SRAMA 中.如此往复循环,通过乒乓机制,完成整个实时处理的工作过程,提取出光带中心线坐标.

## 4 实验结果

本文选用 Altera 公司生产的 Cyclone II 系列中的 EP2C50F672C8 芯片完成设计,实现三维扫描图像光带中心线提取的梯度质心算法.结合三维扫描仪,对人体脚部模型进行了实验,选取扫描过程中的不同位置(脚侧位置、脚面位置和脚尖位置),并将采集系统的处理结果标记在原始扫描图像上进行比较,处理结果如图 6 所示.

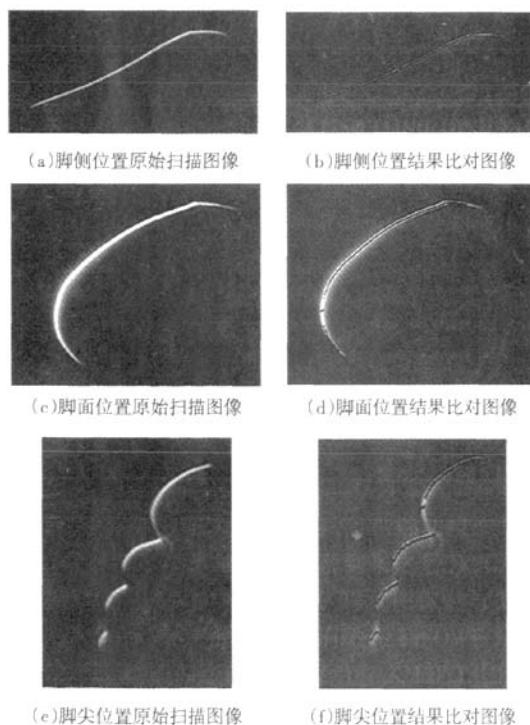


图 6 处理结果图

Fig.6 Processing results

由图 6 可知,无论是在图像细节较少的脚侧位置,还是在图像细节较突出的脚尖位置和有可能形成环状光带的脚面位置,本文所设计的实时处理系统均能将这些位置的图像信息有效地提取出来,并且实时处理系统所提取的光带中心线坐标与原始图像光带相吻合.

进一步将所设计的系统应用于三维扫描系统,如图 7 所示.对图 7(a)所示的人体脚步模型进行了扫描实验,经过本文所设计的实时处理系统后,重建图像如图 7(b)所示.



(a)人体脚部模型 (b)人体脚部模三维重建结果图

图 7 人体脚部模型和三维重建结果图

Fig.7 Human foot model and three-dimensional reconstruction results chart

对比图 7 中 3 个角度的人体脚部模型和重建图像可知,本文系统可以有效重建出物体的表面轮廓信息,并且很好地还原出了物体表面的细节信息,重建三维图像轮廓清晰、表面平滑,说明该系统真实、有效.

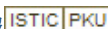
## 5 结束语

本文利用 FPGA 硬件电路的并行体系结构,与三维扫描系统相结合,将以 FPGA 为核心的实时处理系统应用于三维扫描系统当中,以硬件形式实现了三维扫描图像光带中心线提取的梯度质心算法,解决了原有扫描系统传输效率低、系统集成度不高等问题,经过实际的扫描比对实验和重建实验,证明本文所设计的系统工作正常、结果有效,具有一定的应用价值.

## 参考文献:

- [1] 胡 亮,段发阶,丁克勤,等.基于 FPGA 图像处理技术在钢板表面缺陷检测系统中的应用[J].传感技术学报,2006,19(3):694-701.
- [2] 江 洁,邓珏琼,张广军.光条纹中心的实时快速提取[J].光学技术,2008,34(2):170-174.
- [3] 鲍建周,赵 瑞,王 芳,等.用 VHDL 语言实现高速视频图像处理[J].中国现代教育装备,2008(12):42-44.
- [4] 段 雷,李 梅,王彩霞.基于 DSP 和 FPGA 的实时图像处理平台的设计[J].实验科学与技术,2008,6(5):52-54.

# 三维扫描图像光带中心线提取的FPGA实现

作者: 姚文达, 田庆国, 陈兴梧  
作者单位: 天津大学, 精密仪器与光电子工程学院, 天津, 300072  
刊名: 天津工业大学学报   
英文刊名: JOURNAL OF TIANJIN POLYTECHNIC UNIVERSITY  
年, 卷(期): 2010, 29(3)  
被引用次数: 0次

## 参考文献(4条)

1. 胡亮, 段发阶, 丁克勤, 等. 基于FIGA图像处理技术在钢板表面缺陷检测系统中的应用[J]. 传感技术学报, 2006, 19(3): 694-701.
2. 江洁, 邓珏琼, 张广军. 光条纹中心的实时快速提取[J]. 光学技术, 2008, 34(2): 170-174.
3. 鲍建周, 赵瑞, 王芳, 等. 用VHDL语言实现高速视频图像处理[J]. 中国现代教育装备, 2008(12): 42-44.
4. 段雷, 李梅, 王彩霞. 基于DSP和FPGA的实时图像处理平台的设计[J]. 实验科学与技术, 2008, 6(5): 52-54.

## 相似文献(2条)

### 1. 学位论文 孔德杰 基于CCD图像处理的焊缝跟踪控制系统的研究 2005

本文首先简要介绍了埋弧焊焊缝跟踪发展的历程及国内外焊缝跟踪技术研究的现状, 论述了埋弧焊焊缝跟踪技术发展趋势, 即随着计算机技术和电子EDA技术的进一步发展, 埋弧焊焊缝跟踪的实现, 成为研究的热点问题。本文将弧焊机器人中的视觉焊缝跟踪系统应用在埋弧焊焊接工艺中, 通过视觉焊缝跟踪系统识别不同形状的焊缝, 在焊接过程中通过它来判断焊枪和工艺所要求焊缝位置的偏移量, 通过控制器将信号发送给执行机构来改变焊枪的位置, 使焊枪始终处于准确的焊接位置。

本系统的驱动执行机构选用的是伺服直流电动机, 并分析了直流伺服电动机的几种驱动电路的拓扑形式, 比较了这些电路的特点后, 选用了H型双极式PWM驱动电路为伺服驱动的主电路, 并根据此电路的特点, 设计了一种基于FPGA的伺服控制芯片, 在焊接过程中进行轨迹跟踪的实时伺服控制。本文论述该伺服控制器实现的理论与并给出了实现的方法。该控制电路具有集成度高、控制思想易于实现、电路简单、抗干扰能力强、可靠性高的特点, 应用于焊缝跟踪中的双轴伺服执行系统。事实证明, 该伺服控制芯片能够对焊缝进行正确的跟踪, 具有一定的可行性。焊缝图像由线阵CCD摄像系统摄取, 通过图像采集系统和计算机软件, 对检测到的弧焊区图像进行处理来准确地识别焊缝位置, 计算焊炬和实际焊缝之间的偏差, 通过此偏差信号, 伺服控制器来控制执行系统运动进行实时跟踪, 从而有效地提高焊缝跟踪精度。

在普通的埋弧焊焊接小车的基础上, 设计了焊缝跟踪小车。该小车的伺服执行系统由伺服电机来驱动, 从而实现X-Z平面的正确跟踪。

本文对焊缝跟踪系统的图像处理环节也进行了简单的研究、介绍。该焊缝跟踪系统的人机接触界面是在中文Windows环境下, 应用程序设计语言Microsoft Visual C++开发了一个焊缝图像处理系统。主要利用VC++编译环境下处理灰度BMP位图的实现方法, 对由CCD传感器摄取的焊缝图像进行处理, 例如: 图像滤波、图像轮廓跟踪、图像的边缘增强、图像的边缘检测以及中心线提取等。在此系统中利用结构光视觉焊缝定位技术获取焊缝位置信息, 可以快速实现对焊缝的精确定位。采用视觉伺服反馈系统, 实现埋弧焊在多道焊接时的重复自动跟踪以及跟踪机构的控制和焊炬横向调节机构的控制, 并使之协调联动, 满足焊接过程的要求。

此埋弧焊焊缝跟踪系统的采用了先进的电子EDA技术、计算机图像处理技术从而大大提高了控制芯片的集成度和自动跟踪系统的稳定性、正确性。

### 2. 学位论文 郭奇 智能相机在激光焊缝跟踪检测系统中的应用研究 2009

本文以中国科学院知识创新工程重要方向项目“全自动激光拼焊成套装备关键技术研究与应用”及沈阳市科技攻关项目“激光视觉焊缝自动跟踪与质量检测系统”为依托, 针对激光焊接这个难点问题, 在广泛调研国内外研究现状的基础上, 研究开发了一套激光视觉焊缝跟踪检测原理样机。本文主要包括以下四方面的工作: 1焊缝跟踪系统的系统结构搭建; 2图像处理方法研究; 3图像处理在FPGA中的实现; 4基于工业机器人的激光焊接实验及结果分析。具体工作如下:

本文首先论述了应用于焊缝跟踪的线结构光视觉传感器检测原理, 建立了激光焊缝跟踪检测系统实验平台。该平台由图像采集与处理模块、上位机系统、DSP控制器、伺服电机驱动器、伺服电机等五部分组成。

激光拼焊焊缝跟踪图像的处理方法是关键技术之一, 直接影响系统的实时性, 根据激光拼焊焊缝跟踪图像的特点设计了相应的图像处理算法, 分析了基于数学形态学的焊缝跟踪结构光条纹图像增强算法, 并根据本课题的特点提出了一种基于模板的边缘提取方法, 能简洁快速地提取出单像素边缘, 然后研究了结构光中心线提取算法以及焊缝特征点识别算法, 最后通过仿真实验验证了该图像处理流程的有效性。

论文的重点在于图像处理方法在智能相机中的实时实现。跟踪系统对图像处理的实时性要求很高, 传统的处理方法主要是在DSP中以软件编程的方式实现, 速度难以进一步提高, 本课题中通过在智能相机中的FPGA中构建一个SOPC系统, 将基于硬件描述语言VHDL完成的图像预处理模块和基于Xilinx公司的microblaze软核的特征点提取模块集成在单片芯片上, 实现了激光条纹特征点的实时提取, 系统具有高度的灵活性与出色的功能。

最后对搭建的跟踪系统平台进行了实验研究, 用实验验证了焊缝跟踪系统的性能, 保证了该套系统能够满足实时跟踪的要求, 可以达到预期的设计目标。

关键词: 计算机视觉; 激光拼焊; 焊缝跟踪; FPGA; SOPC系统

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_tjfgzgyxb201003012.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_tjfgzgyxb201003012.aspx)

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: c5a44e96-4db7-41db-ac0a-9df20107a737

下载时间: 2010年9月15日