

基于FPGA的紫外/可见光图像实时配准实现

王斌 钟胜

华中科技大学自动化学院, 湖北 武汉 430074

摘要 为了在电路损伤早期探测和定位电晕放电,依据其放电在紫外波段的成像特性,采用基于现场可编程门阵列(FPGA)为核心的处理平台,设计了可对紫外光和可见光两路信号进行采集、配准和融合处理的实时检测系统。通过优化设计硬件结构、快速图像配准算法及基于MicroBlaze软核的控制模块,提出了一种基于FPGA的快速图像配准的实现方法,实现了对不同焦距下可见光图像数据与紫外图像数据的实时融合处理。结果表明,该方法能够有效提高图像融合处理的速度和系统运行效率,满足对紫外信号进行检测和定位的要求。该方法已经运用于南方电网的线路巡检中。

关键词 图像处理;紫外检测;图像融合;现场可编程门阵列

中图分类号 O436 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP51.071003

A Fast Ultraviolet/Visible Image Registration Realization Based on FPGA

Wang Bin Zhong Sheng

School of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China

Abstract In order to early detect and locate circuit damage corona discharge, in accordance with its ultraviolet imaging features, the use of FPGA core processing platform is designed to ultraviolet and visible two-way signal acquisition, registration and fusion the real-time detection system. By optimizing the design of the hardware structure and fast image registration algorithm based on MicroBlaze soft-core control module, a method is proposed to achieve fast FPGA-based image registration, the realization of different focal lengths UV/visible real-time processing of video data fusion. The results show that this method can effectively improve processing speed and image fusion system efficiency, meets the UV signal detection and localization requirements. This method has been used in China Southern Power Grid line inspection.

Key words image processing; UV detection; image fusion; FPGA

OCIS codes 100.4994; 100.2000

1 引言

紫外(UV)光谱成像检测技术是欧美国家为军事目的而发展起来的新型成像检测技术,利用该技术可以观察到许多用传统光学仪器观察不到的物理、化学、生物现象^[1-2]。将可见光探测器和紫外光谱检测的特性结合在一起,通过图像配准融合技术,可以形成新的检测设备。

电晕放电对电力系统的损害日益引起人们的重视,利用紫外检测的方法来检测电晕放电,能够清晰地显示放电位置和放电强度在图像中。该方法可用于检测电力设备表面局部放电、电晕放电、绝缘状态等,并能与红外热成像技术形成有效互补,提高对电力设备检测的快速性和准确性。陈书汉等^[3]研制出一种双波段图像实时融合实验系统,以TI公司的TMS320DM642作为图像处理系统核心完成紫外/可见光图像融合,其通过调整机械结构完成对定焦相机的图像信息配准。马立新等^[4]设计了单通道双谱紫外电晕放电检测设备,其设计结构简洁,图像处理成本低,但由于以PC机作为其主要硬件架构,便携性大大降低。无法实时监测电路电晕放电状况。因此,提出了一种基于FPGA的快速图像配准的实现方法,实现了对不同焦距

收稿日期: 2014-01-18; 收到修改稿日期: 2014-03-07; 网络出版日期: 2014-06-23

作者简介: 王斌(1987—),男,硕士研究生,主要从事图像处理、嵌入式系统设计等方面的研究。

E-mail: hustwangbin@163.com

导师简介: 钟胜(1972—),男,副教授,主要从事图像分析,模式识别,多波段红外图像融合,图像信号处理机,多DSP并行技术,可编程器件等方面的研究。E-mail: zs2971@gmail.com(通信联系人)

下紫外/可见光视频数据的实时融合处理,实现电晕检测。

2 成像系统结构

图像配准的成像系统结构如图 1 所示:由防尘镜、分束镜、紫外滤光片、紫外成像器、可见光成像器、图像处理板、图像显示模块、图像存储模块依次构成。

光路经过两片 45°角安装的分束镜分离成两束同光轴光路,其中一路为可见光通道(300 nm 以上的紫外光、可见光和近红外光通过),其经过可见光成像器与图像处理板连接;另外一束光路(240~280 nm 的紫外光通过),经紫外成像器与图像处理板相连接。由于两束光通过同一个镜头采集而来,因此不存在视差的问题。

这种分束镜对于 300 nm 以上光谱透射(透射率大于 93%),对包含 240~280 nm 波段的光谱反射(反射率大于 90%)。其在紫外成像器前面放置的紫外滤光片对波长为 240~280 nm 的紫外光透射率高于 60%、对波长为 280~400 nm 的背景透射率低于 10^{-4} ,从而避免太阳光中的紫外线对系统的干扰。

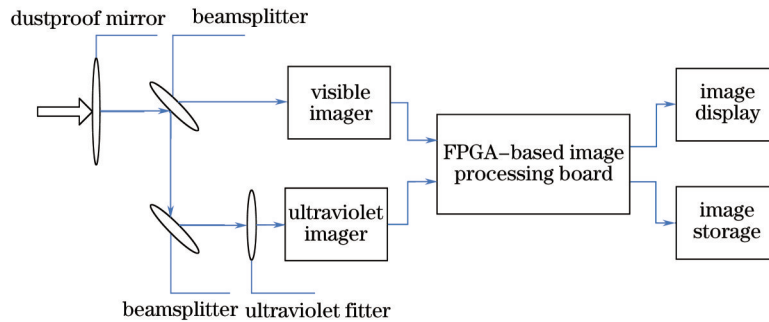


图 1 图像配准系统结构图

Fig.1 Image registration system structure diagram

3 图像配准原理及标定方法

在系统中,图像配准是指同一类型的两个传感器在相同时间,相同视角对同一场景拍摄的两幅图像进行空间域的匹配过程。通过图像配准,可以更好地集成不同传感器的信息。系统中使用机械结构使可见光相机和紫外光相机处于同一光轴上。由于可见光相机的焦距可调,则图像配模型由平移、旋转和缩放的笛卡儿变换构成^[5-6]。其公式为

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + s \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}. \quad (1)$$

为了便于工程实现,上述公式可以变换为

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}. \quad (2)$$

若已知两幅图像中对应的 4 个点的坐标,就可以依据以上的公式求出仿射变换中的 6 个参数,从而实现两幅图像的配准。

在系统中,可见光相机每次焦距变化的步长是固定的,而紫外相机为固定焦距。对于同一个成像系统来说,紫外光相机和可见光相机的放置位置是固定的,则图像配准过程中的参数计算可以通过外部标定完成,将相关的参数以查找表的形式放置在 FPGA 中,从而实现实时图像的快速配准。图像标定的流程如图 2 所示。

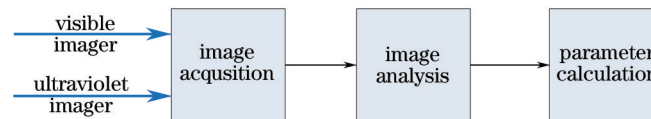


图 2 图像标定流程

Fig.2 Image calibration process

1) 图像采集:搭建图像采集平台,图像采集平台包括相机固定支架、带有 4 个成像定标点的成像目标面,成像目标面中有 4 个成像定标点在可见光相机和紫外光相机中均能成像为 4 个恰可辨别的点。利用图像平

台采集视频,通过图像采集卡将视频导出到外部存储介质。其紫外 CCD 和可见光变焦之后的成像如图 3、图 4 所示。

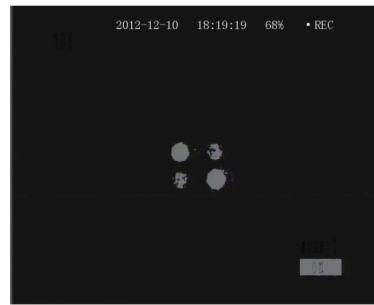


图3 紫外 CCD 图像

Fig.3 Ultraviolet CCD image

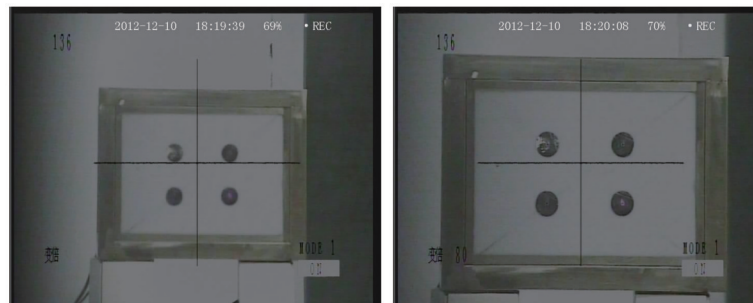


图4 不同焦距下的可见光图像

Fig.4 Visible images under different focal lengths

2) 图像分析:提取外部存储介质中的视频,从视频中提取出若干帧图像,选择若干帧图像中成像定标点最清晰的一帧图像,用图像处理软件分析图像,对图像建立坐标系,确定4个成像定标点在可见光图像和紫外图像中的坐标。

3) 参数计算:确定4个成像定标点 A、B、C、D 在待配准图像中的坐标和在基准图像中的坐标。依据上述的计算公式,计算出每一个可见光变焦下对应的笛卡儿仿射变换的配准参数。

4 基于 FPGA 的图像配准

采用基于 Vietex-4 系列的 FPGA 作为处理核心,相对于 DSP 来说具有接口灵活,功耗低等优点,在 FPGA 逻辑模块内部实现图像配准等处理算法,可以充分发挥 FPGA 在实时性、并行计算方面的优势。其 FPGA 内部逻辑框图划分如图 5 所示。

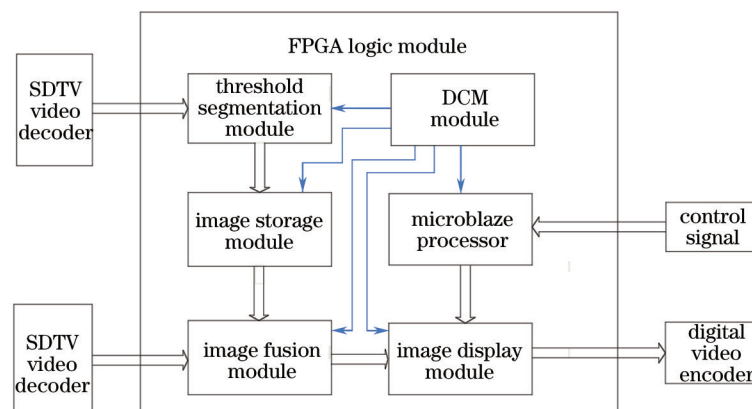


图5 FPGA 内部逻辑框图

Fig.5 FPGA internal logic diagram

在图像处理过程中,首先对紫外图像进行二值化处理来提高其信噪比,其二值化的门限阈值由手动输

入,可以根据不同的背景范围调整不同的阈值,从而使图像效果最佳。

图像存储模块:以标准IP核DPRAM为模板建立4个存储单元。本模块分析紫外光相机输出的YCrCb数据流,剔除其中的帧头、帧尾、帧间数据,将依次到达FPGA的每4帧紫外光图像依次写入4个DPRAM模块中。

图像融合模块:常见的图像融合算法有小波变换图像融合算法^[7-9]、像素加权平均,拉普拉斯金字塔方法、数学形态学方法等。并有相关的融合效果评价方法^[10-12]。而对于本系统的图像融合算法而言,需要将紫外光斑信息显示在彩色的可见光图像上面,采用的方法是:依次从4个DPRAM中读取紫外图像作为基准图像,从数据流中读取可见光图像做为待配准图像。以仿射变换模型为基础,根据MicroBlaze软核传来的参数,将待配准图像仿射变换。如果仿射变换后的结果图像不为整数,则对图像像素双线性插值,否则直接将结果图像与基准图像的每一个比特位执行比特级逻辑运算,得到融合图像。图像融合算法流程如图6所示。

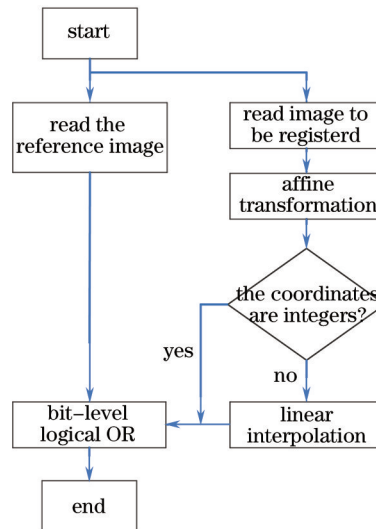


图6 图像融合算法流程

Fig.6 Image fusion algorithm processes

仿射变换:根据可见光相机当前的变焦倍数,读出相应的参数提取步骤中的缩放参数和偏移量参数,并分析基准图像的PAL制式,找到每一帧基准图像的起始位置,分离出每一行的起始段,保留基准图像的帧头、行头和帧尾,在各行列的有效像素通过之前6个时钟周期,根据6个参数计算基准图像某像素在待配准图像中相应像素的坐标。考虑到存在奇偶场,需要对基准图像的行坐标做特殊处理。

像素插值:当仿射变换得到的待配准图像中的像素坐标不是整数值时,需要对像素插值,根据计算出的待配准图像的像素坐标,如果行坐标在1~576范围内,列坐标在1~720范围内,则舍去小数部分,仅取整数部分,如果行坐标小于1大于576,列坐标小于1大于720,则该坐标不在寻址范围之内,将不进行寻址操作。根据插值后的结果,从FPGA内部的存储模块中寻址到待配准图像中的像素。

图像配准:基准图像有效像素到达之前的6个时钟周期内,配准方法完成仿射变换和像素插值,读出需要的待配准图像像素并将其8位像素值与基准图像像素值执行逻辑或运算,得到配准图像的码流。调整可

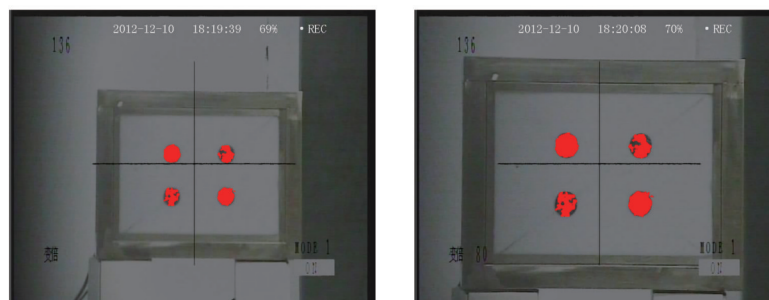


图7 不同焦距下的配准图像

Fig.7 Registered images under different focal lengths

见光的变焦倍数,则采用不同的缩放参数和偏移量,得到不同的码流序列。

经过图像显示模块,在图像显示设备上显示出配准后的图像,并通过存储模块将相关的数据存储下来,作为数据分析使用。例如配准前的紫外图像如图3所示,配准前的不同焦距的可见光图像如图4所示,则其配准之后的图像如图7所示。其输出的可见光与紫外融合的图像如图8所示。



图8 图像融合输出图像

Fig.8 Image fusion output image

5 结 论

通过采用基于Vietex-4为核心的处理平台,设计了可对紫外光和可见光两路信号进行采集、配准和融合处理的实时检测系统。提出了一种基于FPGA的快速图像配准的实现方法,实现了对不同焦距下紫外/可见光视频数据的实时融合处理。FPGA逻辑模块实现图像滤波和图像融合等实时图像处理算法,充分发挥了FPGA在实时性、并行计算等方面的优势。因此本系统所采用的体系结构是一种可以满足用户要求的高性能、低功耗、小体积的解决方案。

结果表明,该方法能够有效提高图像融合处理的速度和系统运行效率,满足对紫外信号进行检测和定位的要求。该系统应用到电力系统中电晕检测效果良好,对电力系统中检测高压设备上的电晕放电和及时排除故障具有十分重要的意义,在电网运行中具有良好的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Lindner M, Elstein S, Lindner P. Solar blind and bispectral imaging with ICCD, BCCD, and EBCCD cameras[C]. SPIE, 1998, 3434: 22-31.
- 2 Lindner M, Elstein S, Wallace J. Solar-blind band pass filters for UV imaging devices[C]. SPIE, 1998, 3434: 176-183.
- 3 Chen Shuhan, Pang Qichang, Jin Guiping, *et al.*. A experimental system for real time two channel image fusion[J]. Optical Technique, 2006, 32(2): 277- 279.
陈书汉, 庞其昌, 靳贵平, 等. 一种双波段图像实时融合实验系统[J]. 光学技术, 2006, 32(2): 277-279.
- 4 Ma Lixin, Xu Rujun, Hu Bo, *et al.*. UV corona discharge detection way of single channel & dual- spectrum[J]. Measurement & Control Technology, 2012, 31(3): 32-35.
马立新, 徐如钧, 胡 博, 等. 单通道双谱紫外电晕放电检测方法[J]. 测控技术, 2012, 31(3): 32-35.
- 5 Liang Yong, Cheng Hong, Sun Wenbang, *et al.*. Research on methods of image registration[J]. Image Technology, 2010, (4): 15-17.
梁 勇, 程 红, 孙文邦, 等. 图像配准方法研究[J]. 影像技术, 2010, (4): 15-17.
- 6 Yu Shicai, Lu Yanqiong. Study of image registration fast algorithm[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(4): 447-449.
於时才, 吕艳琼. 一种图像快速配准算法的研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(4): 447-449.
- 7 Qu Feng, Liu Ying, Wang Jian, *et al.*. Infrared dua l- band rea l- time image fusion system[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(7): 1684-1690.
曲 锋, 刘 英, 王 健, 等. 红外双波段图像实时融合系统[J]. 光学精密工程, 2010, 18(7): 1684-1690.
- 8 Xin Yanan, Deng Lei. An improved remote sensing image fusion method based on wavelet transform[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50(2): 021001.
辛亚楠, 邓 磊. 基于小波变换的遥感图像融合方法研究[J]. 激光与光电子学进展, 2013, 50 (2): 021001.
- 9 Li Shanshan, Wang Qi, Feng Xingle. A novel quality metric based on luminance and contrast model for image fusion[J].

- Laser & Optoelectronics Progress, 2011, 48(6): 061001.
李珊珊, 王琦, 冯兴乐. 基于亮度和对比度模型的图像融合质量评估标准[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48(6): 061001.
- 10 Zhang Yong, Jin Weiqi. Study of assessment effects and image fusion algorithms performance analysis[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2010, 47(10): 101001.
张勇, 金伟其. 图像融合算法性能分析与评价效果研究[J]. 激光与光电子学进展, 2010, 47(10): 101001.
- 11 Xu Mengxi, Qian Weixian, Gu Guohua, *et al.*. Image fusion and colorization of infrared and visible images using a coaxial optical system[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50(9): 091004.
徐萌兮, 钱惟贤, 顾国华, 等. 共轴光学系统下的红外与可见光图像融合与彩色化[J]. 激光与光电子学进展, 2013, 50(9): 091004.
- 12 Ma Lixin, Hu Bo, Xu Rujun, *et al.*. Dual-channel blind detection of UV corona discharge and method of image fusion[J]. Measurement & Control Technology, 2012, 31(10): 16-19.
马立新, 胡博, 徐如钧, 等. 双通道电晕放电紫外检测及其图像融合方法[J]. 测控技术, 2012, 31(10): 16-19.