

基于 UV 光谱技术的高压电晕放电检测*

张海峰 庞其昌 李 洪 张工力

(暨南大学光电工程研究所, 广州 510632)

摘 要 通过分析高压电晕放电的光谱特性, 提出应用紫外光+可见光的双光谱实时视频图像处理系统来探测高压电晕放电. 该双光谱系统以高性能数字信号处理器 TMS320DM642 为核心, 为了采集紫外信号而设计了光路、光谱转换和图像增强等技术, 同时采用多种优化设计的硬件结构、快速融合算法及管理多进程的嵌入式实时操作系统 DSP/BIOS, 实现具备手动像素平移配准功能的双通道数字图像的实时融合处理. 系统可以实时检测和定位高压电晕放电紫外信号, 且具有响应速度快、作用距离远、不受日光和雨雾的干扰等优点.

关键词 紫外光; 双光谱; 图像融合; 电晕放电; 数字信号处理

中图分类号 O434.12; TN911.73; O461.2

文献标识码 A

0 引言

当架空输电线路表面、直线杆塔上、变电所母线两端的耐张线夹处的电场强度超过空气分子的游离强度(一般在 20~30 kV/cm 之间), 空气分子就会被游离, 这时可以听到“刺刺”的放电声, 嗅到臭氧(O₃)的气味, 在夜间还可以看见导线周围发出的蓝紫色荧光, 这种现象被称为“电晕放电”或简称“电晕”^[1~3]. 电晕要消耗电能, 据不完全统计, 全国每年因电晕损耗的电能达到了 20.5 亿 kW·H^[2,3]; 电晕放电时产生的脉冲电磁波对无线电和高频通信会产生干扰; 电晕还会使导线表面发生腐蚀, 从而降低了导线的使用寿命. 因此准确的检测并定位电晕放电对于安全、节能、环保有着极其重要的意义.

目前对电晕放电的探测主要有目视检查、远红外望远镜、红外热成像技术及超声电晕探测器等方法^[1~3], 这些方法各有优缺点. 由于比较弱小的电晕放电发出的光波长较短, 不超过 400 nm, 呈紫色, 大部分属于紫外线范围, 因此将紫外成像探测技术用于电晕检测可以充分发挥紫外探测不受天气影响以及作用距离远的优点. 自 20 世纪 70 年代以来, 欧日美等国家出于军事目的, 紫外摄像器件获得了较高的灵敏度和较合适的光谱范围, 使得紫外线告警、紫外线制导、紫外线通信领域有了新的发展. 但是应用紫外探测技术来用于电晕检测仅以色列有报道^[3,4].

1 电晕放电探测技术现状

由于电晕放电的目标小、强度弱, 目视很难观察到; 而太阳光中含有很强的红外线, 用红外线望远镜

观察误检率较高, 另外红外线检查仪的响应速度慢, 不适于航拍, 因此前两种方法基本淘汰. 红外热成像技术是一种波长转换技术, 即把红外辐射图像转换为可视图像的技术. 它是利用目标内有较大的温度梯度或背景与目标有较大热对比度的特点, 使得低可视目标很容易在红外图像中看到. 但是以下因素制约着红外技术的探测效果: 不同的目标有不同的光谱特性, 目标和探测器之间的环境和距离影响探测系统的性能; 在对流层以下, 大气对目标红外辐射能量的传输有极大的影响; 大气中水汽、二氧化碳等各种气体分子导致各个大气窗口中传输的红外辐射也有相当大的衰减. 此外超声电晕探测器可用来帮助查找暴露在大气中的电晕放电点(包括油杯终端的放电点)^[1~3].

2 电晕放电的光谱特性

2.1 电晕放电的光谱特性

在空气中, 电晕放电放出的光谱与氮气中放电放出的光谱相似, 这证明空气中的电晕主要是氮分子的电离复合放出的光. 对于各种放电发出的光波长不同, 由图 1、图 2 可知在电晕放电的情形下, 一

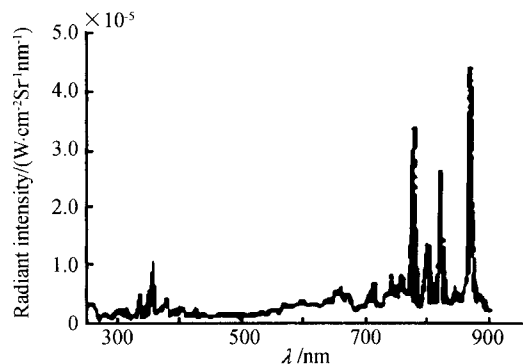


图 1 $U=6000\text{ V}$, $d=2.5\text{ mm}$ 时的光谱
Fig. 1 The spectrum when $U=6000\text{ V}$ and $d=2.5\text{ mm}$

* 广东省科技计划项目重大专项资助(2004A10507001)
Tel: 020-85228814 Email: zhf1977_0@163.com
收稿日期: 2005-11-01

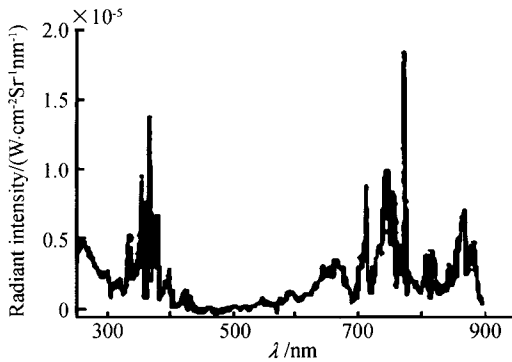


图 2 $U=8000\text{ V}, d=2.5\text{ mm}$ 时的光谱
 Fig. 2 The spectrum when $U=8000\text{ V}$ and $d=2.5\text{ mm}$

般可见光的辐射都较弱,且基本为连续谱;而紫外区和红外区的辐射强弱则与具体的放电电压和电极距离等条件有关,电压越高紫外辐射强度就越大,光谱分布有连续谱、谱带以及分立谱线叠加而成^[5,6]. 通过观察和检测紫外光信号,并将紫外图像信号转换成可见光图像信号,进行采集和处理实现电晕放电的检测和定位,该方法有良好的工作背景、干扰小、虚假信号少等优点.

2.2 光谱范围的选择

通过图 1 和图 2 可以看出高压电晕放电的紫外光谱主要在 200~400 nm 左右的波段. 关于“日盲光谱区”:是指波长在 200~280 nm 的中紫外波段,太阳辐射(紫外辐射的主要来源)在这一波段的光波几乎被地球的臭氧层所吸收,所以“日盲光谱区”的太阳紫外辐射变得很微弱. 这样,由于空域内太阳光等紫外辐射的能量极其有限,如果出现在“日盲光谱区”紫外辐射(比如电晕放电、火灾等),那么就能在微弱的背景下探测出来. 由于探测系统避开了最强大的自然光源—太阳造成的复杂背景,“日盲光谱区”的紫外检测就为电晕放电告警提供了一种极其有效的手段^[4,7]. 因此双光谱图像检测系统的信号光路选择在日盲紫外波段(200~280 nm)对电晕放电进行探测,可得到理想的探测效果.

由于紫外信号通常比较微弱,若直接对其探测较难,因此紫外探测的灵敏度就是该系统必须考虑的一个问题. 为了提高探测灵敏度可以采取以下方法:首先要滤除背景光中的紫外光而又不影响电晕的紫外光信号,即选用“日盲”紫外高透过率窄带滤光片;选择灵敏度较高的镜头;使用光谱转换技术和微光像增强器来增强紫外信号. 这里采用转换屏来实现光谱转换,它的分辨率和光谱转换效率直接影响着紫外探测的灵敏度,当粉层较厚时,光谱转换的量子效率提高,但同时由于粉颗粒对光线的散射作用增强,分辨率反而降低^[4],反之则反. 因此必须很好的权衡分辨率和光谱转换的量子效率两者关系.

根据设计探测距离在正常的天气情况下可达 100 m 左右,适于巡检、航拍.

3 基于 UV 光谱的电晕放电探测技术

双光谱紫外成像系统由两个通道组成:其中一路通道对可见光背景成像,另一路通道对紫外光信号成像,最后将两路图像应用 DSPs 配准、融合,即在输出图像上既有背景又有紫外信号,实现对电晕的检测和定位.

3.1 光路设计

对于双光路结构可以设计为成像光束经过成像镜头后,被分光镜分成两路,其中反射光(虚线)再经可见光全反镜、成像透镜形成可见光图像信号;而透射光为紫外信号(实线)经转换屏、微光像增强器、成像透镜到达 CCD 形成紫外图像信号. 紫外光图像经过系统之后,除光谱被转换外,图像亮度得到增强. 最后两路图像信号送 DSPs 处理. 由于成像物镜光的透过率、半反镜的反射率及全反镜反射率均影响到系统的灵敏度,设计时必须加以考虑^[4].

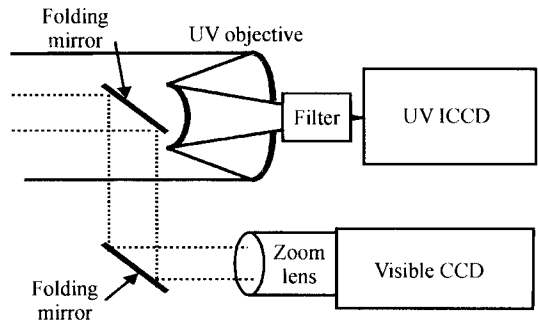


图 3 双光谱的光路设计
 Fig. 3 The path of rays design dual-spectrum

3.2 图像处理部分设计

图像处理部分总体上可以分为:图像获取、图像处理、图像存储、图像显示等部分组成(如图 4),此外还包括:电源管理、DSP 仿真的 JTAG 端口及时钟分配等. 本文选择 TI 公司最新推出的 TMS320DM642 数字信号处理器作为控制和信号处理的核心,其内

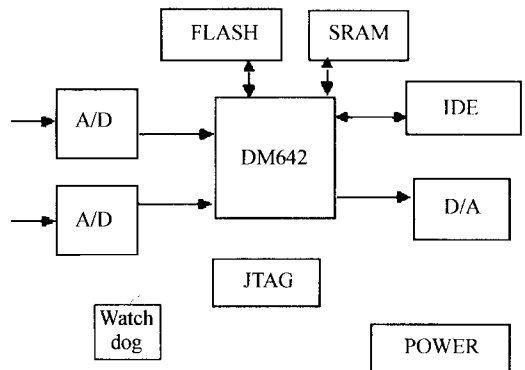


图 4 数字图像处理部分框图
 Fig. 4 Digital picture processing partial diagrams

核为 TMS320C64™, 峰值运算能力达 4800MIPS; 有 3 个视频口 (Video Port), 每个视频口可由软件配置为输入或输出, 支持 8/10/16/20 位, 并具有视频滤波功能、水平缩放功能, 内部集成 FIFO, 能够直接与视频转换器件无缝连接^[8].

进入镜头的图像包括背景的可见光信息和电晕放电的紫外信息. 在 UV 通道把紫外信号转换为 CCD 可响应的可见光信号, 并将图像增强到 CCD 可以工作的照度^[4]; 在可见光通道其信号经成像物镜直接送 CCD, CCD 将光信号转化为电信号. 系统复位完成 DSP 程序加载后, 先由 DSP 通过 I²C 总线对两路 ADC 进行初始化, 初始化成功后, ADC 按照设定的采样频率实时对模拟视频信号进行连续采样, 模拟信号被编码成数字并行信号 BT656 码流送 DM642 的视频接口 VP0 和 VP1. DM642 的视频接口解码 BT656 码流, 得到图像并自动通过 EDMA 传输到 SDRAM 中存储. 当需要图像配准、图像融合等处理时, DM642 的 CPU 通过访问 SDRAM 中的图像, 进行相应的处理后送输出缓冲区中, DM642 的视频接口 VP2 通过 EDMA 从 SDRAM 中输出缓冲区取得数据后形成 BT656 码流送出在 LCD 显示. 当检测到有电晕放电时, 将此帧图像通过 IDE 接口存储到外部移动硬盘.

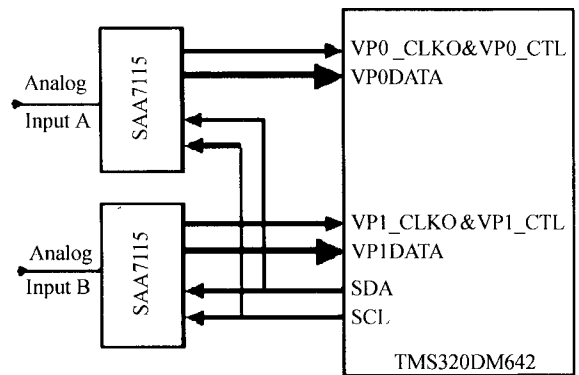
3.2.1 图像获取与数字化模块

该模块主要作用是对于 CCD 采集到模拟图像信号, 进行 A/D 转换成数字信号供后续电路处理. 该部分采用了内置抗混叠滤波、钳位与增益控制、采样保持等功能^[9]的 Philip 公司的 SAA7115 视频 ADC 芯片外加分立器件构成. 由于要同时处理两路视频信号, 所以系统中设计有两套完全独立的 ADC 单元. 如图 5(a), DM642 通过 I²C 总线来对 SAA7115 进行配置, 完成对视频信号输入制式、视频信号通道选择、视频数据输出格式、同步信号插入位置、亮度色度及对比度设定、同步信号输入开关、视频采集量化启动和关闭等等内部寄存器的设置^[9]. 系统中两块 SAA7115 地址分别为 0X42 和 0X40, 其 RTCO 是否接 3.3KΩ 电阻决定了它们的地址^[9].

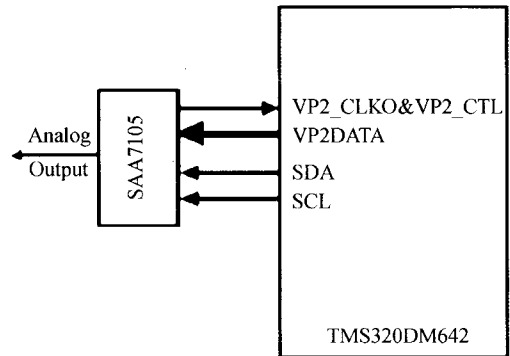
3.2.2 视频编码与图像显示模块

经过 DM642 进行图像配准和图像融合处理后的数字视频信号必须转化为标准的模拟视频信号才能够显示. 如图 5(b), 本系统 DM642 的视频口 VP2 输出数字图像信号经 PHILIPS 公司的视频编码芯片 SAA7105H 转换为 PAL 制式模拟视频信号输出. 在此对 SAA7105 的配置也是通过 DM642 的 I²C 总线进行, 其地址为 0X88^[10]. 由于使用 DM642 内部 FIFO, 并配合 VP2 的 EDMA 传输通

道可以使 DM642 与 SAA7105H 无缝结合而且时序比较简单.



(a)The module schematic diagram of video signal digitization



(b)The module schematic diagram of video signal code output

图 5 视频获取与显示

Fig. 5 Video signal capture and display

3.2.3 图像存储模块

TMS320DM642 能够根据 SDRAM 的行、列和块大小灵活配置, 兼容几乎所有的 SDRAM. 通过 DM642 的 EMIF 接口可连接 SDRAM 和 FLASH 存储器, SDRAM 扩展了系统的可用临时存储空间^[8](如图 6), 而系统的初始化代码和配置信息则存储到 FLASH 中, 使 DSPs 应用板可以独立运行.

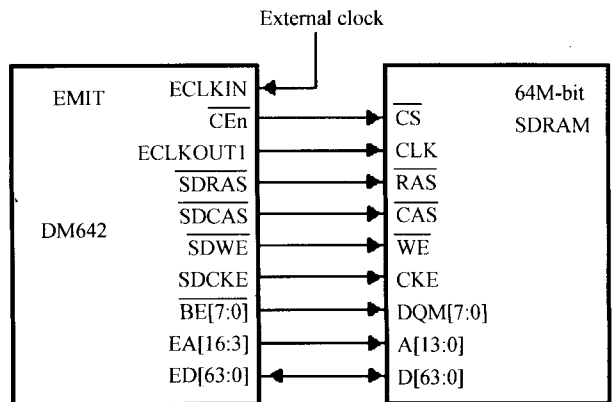


图 6 SDRAM 存储器扩展图

Fig. 6 The diagram of SDRAM connect

由于 SDRAM 是易失性存储器, 需要保证在 60 ms 内对 SDRAM 内的数据进行刷新操作, 否则 SDRAM 内的数据将会丢失. 上电序列是 SDRAM 特有的操作, 通常 SDRAM 在上电后进入不定态,

为了让 SDRAM 进入确定的状态必须进行以下的上电序列操作:保持至少 100 ms 的延时,期间除了 INHI 和 NOP 命令外不能有其他命令;在一个 NOP 命令后施加 PRECHARGE 命令;接着施加 REFRESH 命令;最后施加 LMS 命令设置 SDRAM 工作模式. 该系统除了实时处理和显示图像之外,还须具备有紫外信号时能够将图像存储下来. 因此设计了一个 IDE 接口和 UART 接口,44 针 IDE 接口用作连接硬盘存储情况异常的图像数据,UART 接口用来与单片机进行通信实现相应的控制功能.

除此之外,系统还包括看门狗电路、电源管理、时钟、DSP 仿真用 JTAG 端口等部分,在此不再赘述.

3.2.4 系统软件设计

一个完整的数字图像处理系统包括图像处理的硬件平台与图像处理软件. 该系统软件主要包括控制程序、图像配准和图像融合等. 控制程序用于实现测光系统保护紫外像增强器、DSPs 与单片机进行通信、DSPs 根据阈值存储放电图像的 IDE 移动硬盘驱动程序等. 图像配准是图像融合的基本环节,本系统采用半自动的基于特征的点映射图像配准方法,满足系统的整体要求^[11,13]. 在该双光谱检测系统中,主要目的是实时对紫外信号进行实时定位,选择融合算法须权衡处理速度和图像保真两者关系,为此在加权平均法、对比度调制法、小波分解法、金字塔法及假彩色法^[12,14,15]等众多融合算法中,选择了加权平均+像素比较融合算法^[11],能够满足系统的要求. 当然,由于可见光与紫外光经过的光路和处理过程不同,所以两种图像对噪音等的预处理要求和算法不尽相同.

紫外双光谱图像融合的特点是数据量大,运算量大,实时性强. 采用实时操作系统 DSP/BIOS 的多线程机制分解程序,改进程序结构,可加快程序设计和编程效率,同时有效提高系统的实时性.

4 结论

设计 UV 双光谱图像检测系统充分考虑选择合适的图像配准和融合算法、应用高性能数字信号处理器及实时操作系统 DSP/BIOS 多线程优化设计可以提高系统的实时性. 该系统响应速度快,分辨率高,作用距离远,不受日光、雨雾的干扰,可准确定位等优点,特别适用于高压变电系统、高压输电线路等各种环境下应用. 同时该系统充分利用了 DM642 的特性,使结构达到简洁、可靠,稍作改进可以高效灵活的进行其他双通道、多通道图像实时检测.

参考文献

- 邱昌容,王乃庆. 电工设备局部放电及其测试技术. 北京:机械工业出版社,1994. 9
Qiu C R, Wang N Q. Electrician Equipment Local Discharge and Its Test Technology. Beijing: Mechanical Industry Publishing House, 1994. 9
- 冯允平. 高电压技术中的气体放电及其应用. 北京:水利电力出版社,1990. 3, 23~98
Feng Y P. Gaseous Discharge in High Voltage Technology and Its Application. Beijing: Water Conservation and Electric Power Publishing House, 1990. 3, 23~98
- Behrooz V, Mohmmad Javad A, Hassan A, et al. Corona detection on surfaces of insulators using ultrasound sensors and fibre-optic transmission systems. *European Transactions on Electrical Power*, 2005, **15**(5): 413~424
- 靳贵平,庞其昌. 紫外成像检测技术. 光子学报, 2003, **32**(3): 294~297
Jin G P, Pang Q C. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(3): 294~297
- Wang W C, Zhang J L; Liu F, et al. Study on density distribution of high-energy electrons in pulsed corona discharge. *Vacuum*, 2004, **73**(3-4): 333~339
- 赵文华,张旭东,姜建国,等. 尖-板电晕放电光谱分析. 光谱学与光谱分析, 2003, **23**(5): 955~957
Zhao W H, Zhang X D, Jiang J G, et al. *Spectroscopy and Spectrum Analysis*, 2003, **23**(5): 955~957
- Lindner M, Elstein S, Wallace J. Solar blind bandpass filters for UV imaging devices. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 1998, **3302**: 176~183
- Ti Co. Ltd; Texas Instruments TMS320DM642 Video/Imaging Fixed-Point Digital Signal Processor Data Manual [EB], <http://www.ti.com>, 2003. 5: 3-10, 101~132
- Philips semiconductors; SAA7115; SAA7115A DATASHEET [EB], <http://www.semiconductors.philip.com>, 2001. 10: 6~25, 116
- Philips semiconductors; SAA7104; SAA7105 DATASHEET [EB], <http://www.semiconductors.philip.com>, 2004. 3: 3~18
- 李洪. 双光谱图像检测的图像配准融合技术[学位论文]. 广州:暨南大学, 2004. 23~25, 42~58
Li H. Image Registration and Fusion Technology in the Detection of Double. Spectrum Image Detection [Thesis]. Guangzhou: Jinan University, 2004. 23~25, 42~58
- 李明,吴艳,吴顺君. 基于小波多通道特征级融合的彩色纹理图像分析. 光子学报, 2004, **33**(8): 999~1003

- Li M, Wu Y, Wu S J. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(8):999~1003
- 13 Zhang Y. Understanding image fusion. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2004, **70**(6):657~661
- 14 狄红卫, 陈木生. 一种自适应的多光谱图像与全光图像融合新方法. *光子学报*, 2005, **34**(3):452~454
- Di H W, Chen M S. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(3):452~454
- 15 那彦, 史林, 杨万海. 小波包变换与遥感图像融合. *光子学报*, 2004, **33**(6):736~738
- Na Y, Shi L, Yang W H. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6):736~738

Detection of High-Voltage Corona Based on UV Spectrum Technology

Zhang Haifeng, Pang Qichang, Li Hong, Zhang Gongli

Institute of Optoelectronic Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632

Received date: 2005-11-01

Abstract By analyzing the spectral characteristic of high-voltage corona, an ultraviolet & visible light dual-spectrum real-time video image processing and image fusion system to detect the high-voltage corona was proposed. The dual-spectrum system took the high performance digital signal processor TMS320DM642 as a core; light path, the spectrum transformation and image enhancement were designed to capture the ultraviolet signal. They adopted many kinds of considerations design to optimize hardware structural, and fast fusion algorithms to improve the system speed, and the embedded real-time operating system (DSP/BIOS) to manage multi-process at the same time. Further more, manual registration function that was based on pixels translation was provided. The system can meet the requirement of real-time dual-channel digital image fusion processing in order to detect and locate the high-voltage corona ultraviolet signal in real time. Its merits were speed of response quick, the range coverage was far, not sunlight and drizzle disturbance.

Keywords Ultraviolet; Dual-spectra; Image fusion; Corona discharge; Digital signal processor



Zhang Haifeng was born in 1977. He got his Bachelor's degree from Taiyuan University of Technology in 1999. He is a M. S. candidate on optics engineering in Jinan University, China. His research interests include image fusion, image processing, photoelectron detecting and logic design.