

红外超光谱成像仪电路的设计与仿真^{*}

任 斌^{1,2}, 李自田¹, 孟 楠³

(1 中国科学院西安光学与精密机械研究所, 西安 710119; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3 西安通信学院, 西安 710106)

摘 要:提出了一种基于 HgCdTe 短波红外焦平面阵列的红外成像电路设计方案。该系统的逻辑电路以 FPGA 芯片为核心, 采用 VHDL 硬件描述语言自顶向下设计了时序逻辑, 采用多点校正算法对输出的图像进行了非均匀性校正。最后与采用一般两点法校正的图像进行了对比, 设计结果达到了预期目的。

关键词:红外焦平面阵列; 现场可编程门阵列; 低压差分信号; 非均匀性校正

中图分类号: TN219 文献标志码: A

Design and Simulation of the Circuit of Infrared Hyper-spectral Imaging Spectrometer

REN Bin^{1,2}, LI Zitian¹, MENG Nan³

(1 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China;
2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;
3 Xi'an Communications Institute, Xi'an 710106, China)

Abstract: With the requirement of the SWIR hyper-spectral imaging spectrometer, this article describes a project of SWIR image circuit based on IRFPA detector. The field programmable gate array (FPGA) was selected to be the hardware design platform. The low voltage differential signaling was used to transfer the signal. An improved two-point correction method was chosen to correct the non-uniformity of image. Through comparing the image to normal two-point method corrected image, this project can do the function to satisfactory result.

Keywords: IRFPA; FPGA; LVDS; non-uniformity correction

0 引言

随着光电技术的飞速发展, 成像光谱仪由最初的多光谱、高光谱发展到超光谱。超光谱成像仪通过精细分光, 提供目标连续的光谱曲线, 以获得目标光谱特性和空间分布。而短波红外超光谱成像仪利用太阳反射光谱区在可见近红外波段的大气窗口对地面探测, 可以获取可见光波段成像光谱仪无法获得的信息, 在侦查、遥感、医学、无损检测等领域具有深广的应用前景。

为了验证在可见近红外波段研制超光谱成像仪的技术可行性, 搭建如图 1 所示的短波红外超光谱成像仪。光学系统采集到的光信号经过红外焦平面组件光电转换后, 再由信号处理器采

样和调理输出。

文中简要介绍了该红外超光谱成像仪图像采集电路的设计及其硬件实现, 并在最后给出了系统在实际应用中获得的夜视图像, 较好满足了设计需求。

1 红外光谱仪焦平面组件

1.1 红外 (SWIR) 探测器的选型

红外焦平面探测器的选择充分考虑设计指标要求和经费预算, 拟采用法国 Safradir 公司生产的 NEPTURN SW K508 短波红外焦平面器件。该器件的成像波段为 $0.9 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 短波波段, 像元数为 500×256 , 最大帧频为 200 Hz, 采用 HgCdTe 材料, $30 \mu\text{m}$ 象元尺寸, 大动态范围,

^{*} 收稿日期: 2009-01-16

基金项目: 国家自然科学基金(40805013)资助

作者简介: 任斌(1983-), 男, 安徽宿州人, 硕士, 研究方向: 短波红外的信号处理。

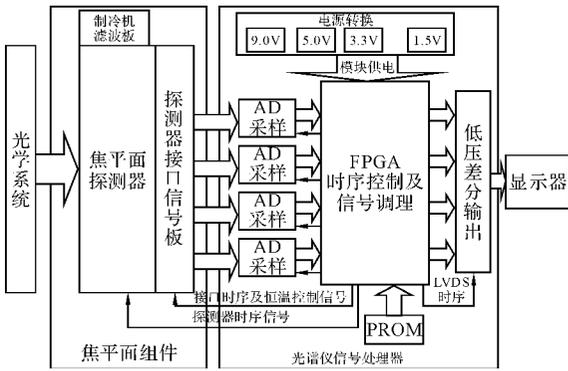


图 1 红外超光谱成像仪电路结构示意图

支持隔行输出等。

探测器自带的 512bytes 的串行寄存器用于控制增益和选择任意行输出, SCLK, SRST, SDATA 和 SOK 是用于设置自定义增益大小和任意行输出时使用的控制信号。SCLK 为控制信号时钟, 下降沿有效; SRST 和 SDATA 应在 SCLK 时钟信号上升沿(+/-1/4 周期)。

1.2 制冷机和温度传感器接口

红外焦平面阵列(IRFPA)的工作温度应≤150K, 需要由 K508 斯特林制冷机来为 IRFPA 的正常工作提供制冷。探测器通过温度传感器接口(DTA 和 DTK)直接输出温度信号, 供给马达控制板, 经过滤波电路实现对马达的恒温控制。

1.3 探测器接口电路设计

探测器接口电路主要完成 5 个任务: 给探测器提供合适的供电电压; 供给探测器合适的偏置电压; 将红外处理器板提供的时序转换成对探测器的驱动; 探测器输出的视频输出缓冲和驱动功能; 对马达的恒温控制。

探测器的不同的供电和偏置电路要相互隔离, 并且在电源的输入引脚要接去耦电容, 避免电源引入的噪声影响到输出图像模拟信号。

2 红外信号处理电路设计

图像传感器输出的 4 路模拟信号经过读出电路读出后, 还需要进行 A/D 转换。在进行 A/D 转换电路设计时需要重点考虑带宽、信噪比、采样率等指标。

2.1 A/D 转换电路设计

A/D 转换电路采用了 12 位的 A/D 转换器

AD9220, 它是一个 10MSPS、单电源供电、采用 CMOS 工艺的数模转换器。

AD920 的时钟周期 tC 为 100ns, 高电平脉宽长度 tCH 和低电平脉宽长度 tCL 均为 45ns, 延迟时间 tOD 为 8~19ns, 该时序控制由 FPGA 完成。

2.2 时序控制及信号调理电路设计

逻辑电路选用 Altera 公司的 Cyclone 系列 FPGA 的 EP1C3 芯片^[1]。每个芯片含有 2910 个逻辑单元(LE), RAM 位数 59504bits, 最高工作频率可以达到 200MHz。该芯片还含有锁相环电路(PLL)单元, 并支持采用低成本串行配置器件对其进行配置。具体的接口电路如图 2 所示。

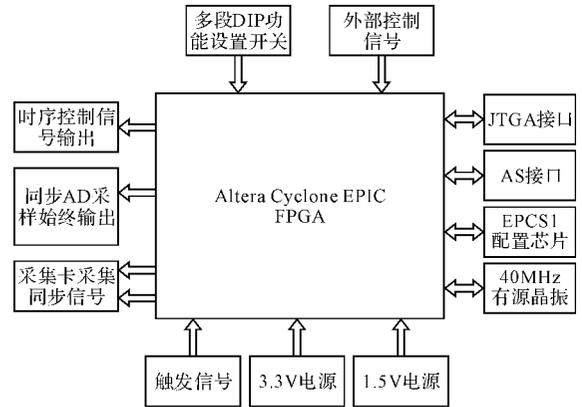


图 2 FPGA 芯片的接口电路图

FPGA 为核心的逻辑电路主要完成: 探测器输出波形的产生, 红外探测器信号的调理, AD 采样时序波形的产生。其中时序控制信号是利用硬件描述语言 VHDL 编程, 然后利用 EDA 工具进行仿真, 再自动综合到门级电路, 最终下载到 FPGA 中实现^[2]。

这里 Cyclone EP1C3 芯片内置的存储单元虽然有 58kbits, 但是要存储一帧光谱图像需要 1MB 的容量, 因此该芯片无法实现帧存储。探测器的象元数是 500×256 的, 所以存储一行图像的容量是 4KB, 于是采用行存储的模式对光谱图像进行调理读出, 其中象元分成 4 路读出, 每一路象元数是 125×256。

图 3 为写地址产生的时序图。设 CLK_W 变量用来对 12 位数据的输出个数进行计数, Aw 从“000000000000”开始, 在 CLK_W 变化的上升沿加一而完成对地址指针的改变, 实现输出数

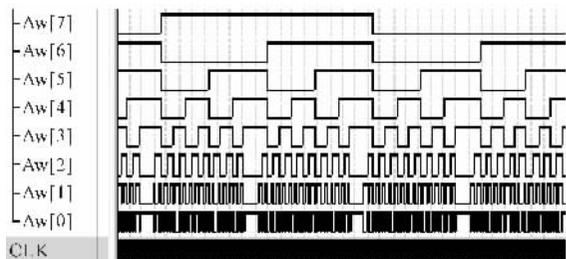


图 3 写地址(低八位)仿真图

据个数的累加。

2.3 低电压差分传输电路的设计

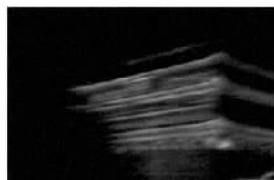
为了提高传输电路的抗干扰能力,视频信号采用低电压差分(LVDS)器件进行信号传输。针对探测器模拟信号是 4 路读出,采用 NS 公司的 DS90LV47A 和 DS90LV48A 驱动芯片组。DS90LV47A 芯片具有 4 路独立的发送单元,传输速率可大于 400Mbps,差分信号摆幅为 $\pm 350\text{mV}$ 。

3 非均匀性校正

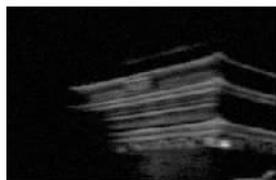
由于许多无法控制的因素和工艺水平的限制,红外焦平面阵列每个探测元的响应率不可能一致,使红外热成像系统即使在均匀背景照射下输出的图像亮度也不一致。这种非均匀性导致红外热成像系统的分辨率下降,使目标图像的质量受到严重影响,因此 MCT 焦平面探测器在使用时必须进行非均匀性校正^[3]。

如今已经有很多非均匀性校正的成熟算法,但大多过于复杂,不利于将其实时化。本设计采用基于两点校正算法的多段校正方法^[4],它将探测单元的响应特性曲线合理分成若干段,每段分别使用两点校正算法(见图 4)。成像仪工作时首先读入预先存储的校正参数,根据每个探测单元输入信号所属于多段校正中的区间段,获取相应校正系数,实时校正^[5]。

通过校正前后的图像对比可以看出多点非均匀性校正算法可以有效去除由于焦平面器件象元响应不一致带来的噪点。



(a) 原图



(b) 两点法校正



(c) 多段校正后

图 4 采用不同方法校正前后的图像

4 小结

通过这一阶段的设计实现,初步验证了在短波近红外波段实现超光谱成像的可行性,取得了良好的夜视效果。通过文中的工作完成了对电路结构的初步研究,要想进一步实现曝光时间控制、增益控制、任意象元输出等功能,解决海量图像数据的压缩存储,验证整台光机系统的可靠性和稳定性,最终实现可见光/短波红外双波段图像融合,还有很多工作要做。

参考文献:

- [1] Altera Corporation. Cyclone handbook[M]. US: Altera Corporation, 2008.
- [2] 宋万杰,罗丰,吴顺君. CPLD 技术及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000.
- [3] DAVID L, SARKADY K A. Linear theory of non-uniformity correction in infrared staring sensors [J]. Optical Engineering, 1993, 32 (8): 1854 - 1859.
- [4] 孔令彬,易新建,王典洪,等. 利用 FPGA 实现红外焦平面阵列实时非均匀性校正[J]. 光电工程, 2002, 29(6): 39-42.
- [5] 刘缠牢,马钢,谭立勋,等. 基于 DSP 实时红外图像的非均匀性校正[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26 (3): 177-181.