

文章编号: 1672-8785(2012)11-0014-06

128×128 元双色红外探测器 成像电路设计

秦金明¹ 李丽娟^{1,2} 赵 亮¹

(1. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009;

2. 航空制导武器航空科技重点实验室, 河南 洛阳 471009)

摘 要: 介绍了针对 128×128 元双色碲镉汞红外焦平面探测器而设计的一种探测成像系统。该探测成像系统包括探测器适配、视频模拟信号调理、模数转换、非均匀校正以及数字图像输出模块等功能模块。结合光学系统和上位机图像记录软件, 对该探测成像系统进行了相关成像试验及性能测试。目前, 该探测成像系统已成功应用于红外导引系统。

关键词: 双色红外焦平面探测器; 脉冲驱动时序; FPGA; 非均匀校正

中图分类号: O6-1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.11.003

Design of Imaging Circuit for 128 × 128 Two-color Infrared Detector Arrays

QIN Jin-ming¹, LI li-juan^{1,2}, ZHAO liang¹

(1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China;

2. Aviation Key Laboratory of Science and
Technology on Airborne Guided Weapons, Luoyang 471009, China)

Abstract: A detection imaging system for 128 × 128 two-color HgCdTe infrared focal plane arrays is designed. The system consists of a detector adapter module, a video analog signal conditioning module, an analog-to-digital converter module, a non-uniformity correction module and a digital image output module, etc. The imaging features and performance of the system are tested together with the optical system and the host computer image recording software. So far, the detection imaging system has been successfully used in an imaging infrared guidance system.

Key words: infrared focal plane array detector; pulse-driving sequence; field programmable gate array; non-uniformity correction

0 引言

目前, 无论在军事还是民事方面, 人们对红外双色焦平面探测器的关注度都在日益提高, 这种器件能够探测在时间或空间上相干的两种不同波长的热辐射。在军事上, 它主要被应用在

导引系统中的目标识别、背景干扰等方面; 在民事上, 它主要被应用在地球观察、气象学等方面^[1]。近几年来, 国内的红外焦平面探测器进入了一个高速发展时期, 例如, 中电 11 所、兵器 211 所、上海技术物理研究所等单位都研制出了性能较好的红外焦平面探测器。

收稿日期: 2012-09-20

作者简介: 秦金明 (1979-), 男, 河南信阳人, 硕士, 助理工程师, 主要从事信息处理技术研究工作。

E-mail: qinjinming@hotmail.com

我们以上海技术物理研究所研制的 128×128 元面阵短波 / 中波 (SW/MW) 双色碲镉汞 (HgCd-Te) 红外焦平面探测器为对象, 设计开发了一套集时序控制、偏置电源、前置放大、滤波、模数转换、图像非均匀校正以及电源为一体的双色成像电路系统。该硬件系统已成功应用到双波

段成像制导系统。

1 探测器简介

1.1 基本性能参数

探测器阵列由 128×128 元组成, 探测器阵列的标称尺寸为 $6400 \mu\text{m} \times 6400 \mu\text{m}$, 像元中心距为

表 1 双色红外探测器的性能参数 [3]

技术参数	测试结果
中心距 (μm)	50
截止波长 (μm)	SW: 2.7 ; MW: 4.9
平均峰值探测率 (cm.Hz)	SW: 1.42×10^{11} ; MW: 2.15×10^{11}
响应不均匀性 (%)	SW: 11.73 ; MW: 26.37
盲元率 (%)	SW: 1.30 ; MW: 13.60

$50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ 。该双色探测器阵列为叠层方式。在迎着入射光方向上, 短波焦面在前, 中波焦面在后。两个波段焦面之间的距离约为 $5 \sim 15 \mu\text{m}$ 。内部读出电路负责对双色敏感元探测阵列的信号进行积分、存储、转换、输出。该电路的工作模式为积分后读出的方式 [2]。探测器的积分方式为 SNAP-SHOT 方式, 即在信号电流被同时开始积分, 然后被同时关闭积分后, 由扫描移位寄存器以电扫描方式对红外并行信号进行顺序选址, 使其成为串行信号后输出。该 128×128 元面阵 SW/MW 双色焦平面探测器的主要性能参数见表 1。

1.2 输入输出接口及偏压要求

128×128 元面阵双色红外探测器的内部电路框图见图 1。NMCT 在低电平时为中波信号积分阶段, 高电平时为短波信号积分阶段。SWRST、MWRST 分别为短波和中波的积分电容复位信号, SWINT、MWINT 分别为短波和中波的积分信号, ROWCLK 为行移位寄存器时钟, COLCLK 为列移位寄存器时钟, ROWSHIFTRST 为行移位寄存器复位脉冲, COLSHIFTRST 为列移位寄存器复位脉冲, ROWSIGIN 为行移位寄存器初始输入脉冲, COLSIGIN 为列移位寄存器初始输入脉冲。SWOUT、MWOUT 分别是探测器的短波和中波模拟输出信号, 输出级为高速

输出跟随放大器。系统设计时需要外接一个下拉 $5.1 \text{K}\Omega$ 电阻, 其最大输出频率为 5MHz 。

双色红外探测器的电源和偏压包括 VDDA 模拟电源, VDD 数字电源, VSFMW 中波输出缓冲偏置电压、VSFSW 短波输出缓冲偏置电压、MDI 中波注入管偏置电压、SDI 短波注入管偏置电压、VMW 中波积分复位电压以及 VSW 短波积分复位电压。具体的偏压要求见表 2。

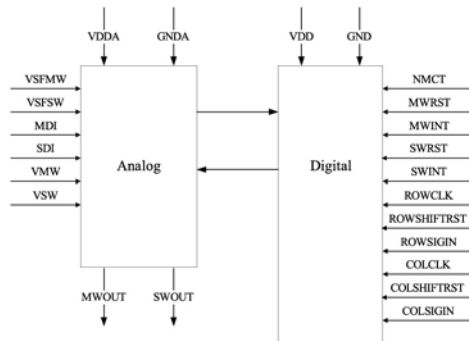


图 1 双色红外探测器内部电路框图

1.3 脉冲驱动时序

探测器的数字控制电路通过不同的外部时钟和偏置产生读出电路所需的所有内部信号, 读出电路内部的时序随外输入改变而改变, 探测器的输入时序和积分时序见图 2(a)。在图 2(a)中, 一个周期包括两个阶段: 复位积分阶段和信号读出阶段。NMCT 为低电平时, 探测器处于

中波复位积分阶段, 当 MWRST 为低电平时, 中波积分电容复位到 VMW 值, 复位后间隔 2 个 COLCLK 以上时钟周期, 使 MWINT 达到高电平后进入中波积分阶段; NMCT 为高电平时, 探测器处于短波复位积分阶段。当 SWRST 为高电平时, 中波积分电容复位到 VSW 值, 复位后间隔 2 个 COLCLK 以上时钟周期, 使 SWINT 达到低电平后进入中波积分阶段。

探测器信号读出阶段的时序如图 2(b) 所示。行读出开始于 ROWSIGN 包含的 ROWCLK 下降沿之后的第 2 个 ROWCLK 下降沿, 之后每个 ROWCLK 下降沿为每行的读出信号, 包含 128 个有效信号。列读出开始于 COLSIGN 包含的 COLCLK 下降沿之后的第 2 个 COLCLK 下降沿, 之后每个 COLCLK 下降沿为每行的读出信号, 包含 128 个有效信号。

表 2 双色红外探测器的偏压要求

名称	类型	范围 (V)	典型值 (V)	精度要求 (V)	电流要求 (mA)
VDDA	固定	5	5	± 0.05	≤ 20
VDD	固定	5	5	± 0.05	≤ 5
VSFMW	可调	0.7 ~ 2.2	1	± 0.005	≤ 5
VSFSW	可调	2.6 ~ 4.2	3.8	± 0.005	≤ 5
MDI	可调	2 ~ 5	2	± 0.05	≤ 5
SDI	可调	0 ~ 2.5	2.5	± 0.05	≤ 5
VMW	可调	2.5 ~ 5	5	± 0.05	≤ 5
VSW	可调	0 ~ 2.5	0	± 0.05	≤ 5
GNDA	固定	地	0	-	-
GND	固定	地	0	-	-

2 硬件设计

2.1 探测器适配电路

探测器适配电路的主要功能包括: (1) 为探测器供电及提供相应的偏置电压, 使探测器工作在最佳工作点; (2) 为探测器提供上电保护, 以避免探测器未被完全制冷就上电, 从而导致探测器损坏; (3) 对探测器驱动脉冲信号及其他脉冲信号进行数字隔离, 以减少外部噪声干扰; (4) 对探测器输出的视频信号进行放大调理, 以保证以大的信噪比将其传输给 A/D 进行图像采集。探测器适配电路框图如图 3 所示。

探测器的模拟、数字电源选用高精度的参考源 REF195 来实现。其他的偏置电压由 REF195 和低噪声、低漂移运算放大器 OP213 提供。探测器的驱动脉冲信号由 NVE 公司生产的 IL71X 系列进行隔离, 以抑制后端采样系统带来的噪声。在信号隔离电路中, 隔离芯片输入端的电压为

3.3V, 输出端的电压为 5V。探测器内部有一组温度传感器接口 (T1A、T1B), 用于监测探测器内部温度。探测器保护电路用于检测探测器的工作温度是否正常。如果工作温度正常则开始向探测器提供电源。若工作温度不正常, 则关闭探测器的电源。根据探测器输出的 T1A、T1B 信号电压, 通过比较器电路产生上电保护信号护信号, 所采用的比较器芯片为 MAX921。

2.2 A/D 采样电路

A/D 转换器的关键指标有两个: 采样率和分辨力。采样率应大于探测器输出的像素速率, 分辨力则与探测器输出信号的动态范围相联系。在设计时要求将探测器输出信号调理到 A/D 转换器所允许的输入范围内, 使信号的噪声与 A/D 转换器的最小分辨能力相匹配。所用探测器的输出信号动态范围大于等于 80dB, 因此最低应选用 14bit 的 A/D 转换器。

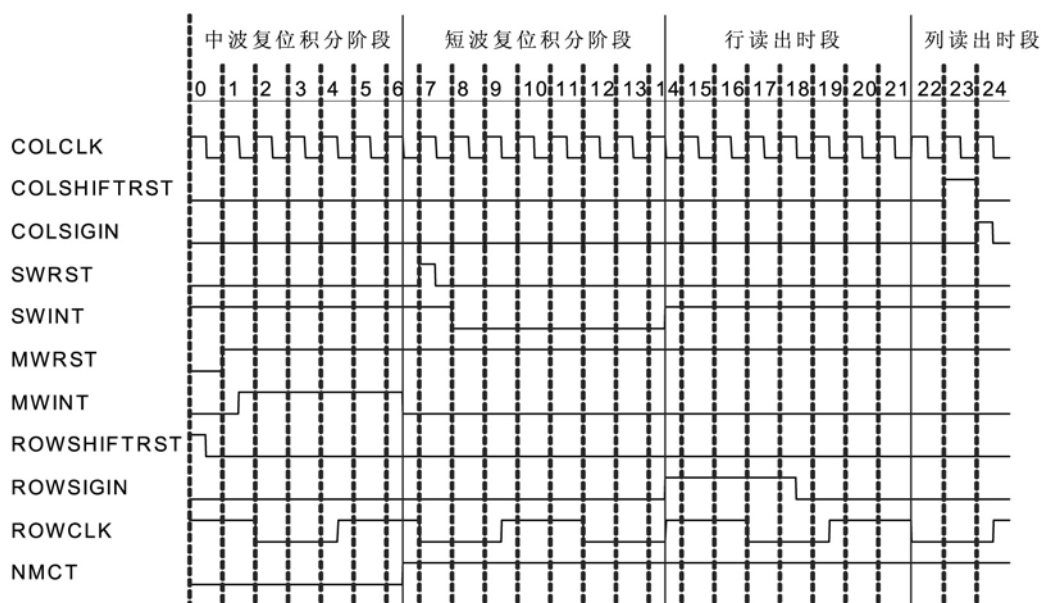
模数转换芯片选用 AD 公司的 AD9248 芯片, 为 14bit, 最高采样频率可达 40MSPS, 采用并行数字输出, 传输数率最高可达 780Mbps。AD 模拟输入 $1V_{p-p} \sim 2V_{p-p}$, AD 差分输入驱动运放选用 AD8138 或 AD8139。该设计中 AD 的参考源采用外部参考源, 电压值为 1V, AD 的模拟输入为 $2V_{p-p}$ 。为了增加信噪比, 在 AD8138 输出与 AD9248 输入之间加了一个低通滤波器。

A/D 转换电路是一个典型的数模混合电路, 最突出的干扰就是数字电路对模拟电路的

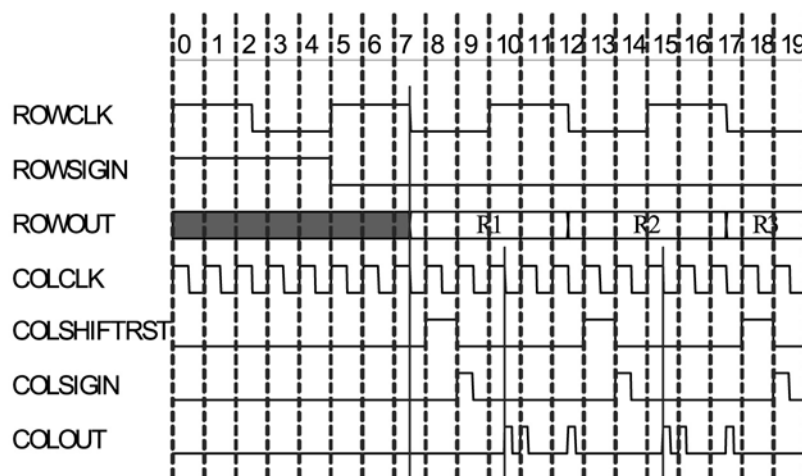
干扰, 其中包括 A/D 变换的量化噪声以及数字电路脉冲信号前后沿通过地线和电源等形成的尖峰干扰。原理图设计中把数字地平面和模拟地平面分开, 并通过磁珠连接起来。

2.3 预处理电路

图像预处理电路的主要功能是实现图像采集, 对原始图像进行非均匀校正, 将校正后的图像数据传输给图像处理机, 同时将原始图像或校正后的图像传输到外部记录设备进行记录。预



(a)



(b)

图 2 双色红外探测器工作时序

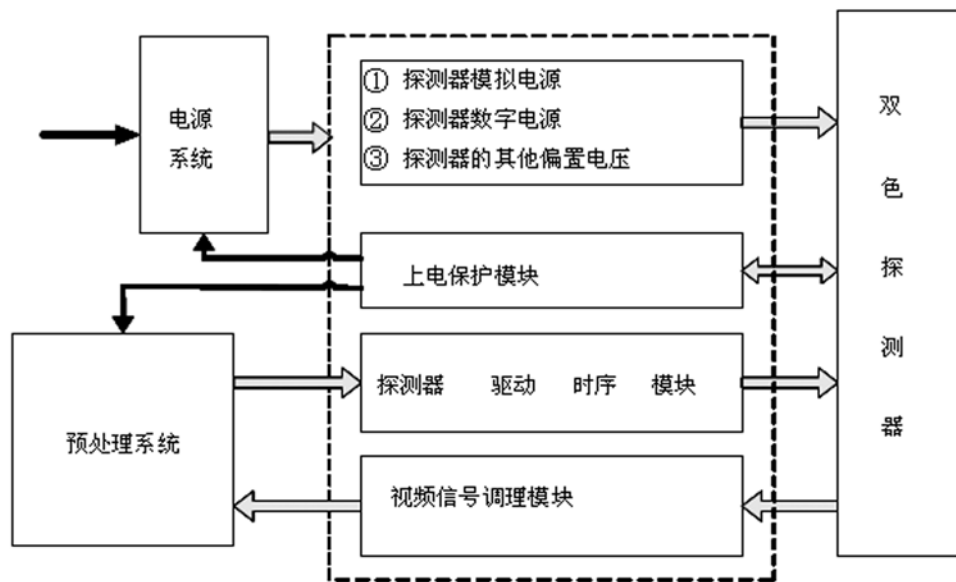


图 3 探测器适配电路框图

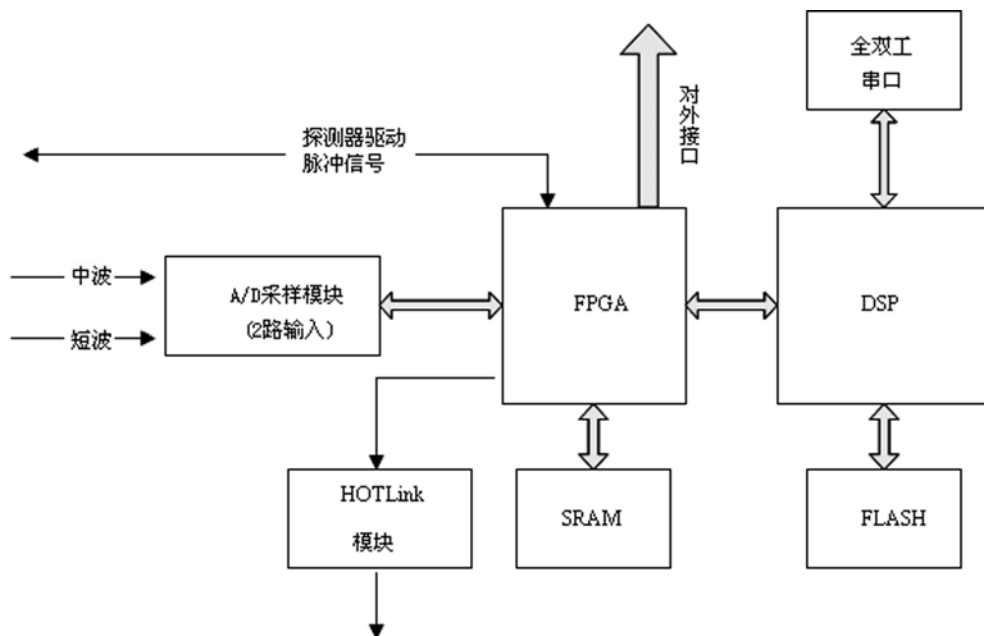


图 4 图像预处理电路

处理电路的结构框图如图 4。

图像预处理数据通路主要包括：

(1) 视频信号经采样模块采样，采样的原始图像数据接受非均匀校正等预处理，处理后的图像数据通过图像处理机接口传输给图像处理机；

(2) 视频信号经采样模块采样，采样的原始图像数据接受非均匀校正等预处理，处理后的图像数据通过 HOTLink 模块传输给外部记录设备进行记录；

(3) 视频信号经采样模块采样，采样的原始图像数据通过 HOTLink 模块传输给外部记录设

备进行记录;

该预处理电路采用 DSP+FPGA 结构, 电路的主要功能模块包括: (1) 探测器驱动脉冲时序模块, 实现像素有效输出; (2) A/D 采样时序模块, 实现图像采集; (3) 非均匀性校正模块, 完成原始图像的非均匀校正; (4) 数字图像输出接口模块, 完成图像输出、记录。DSP 芯片选用 TI 公司生产的 TMS32C6414EGLZA6E3, 其主频为 600MHz。FPGA 电路主要用于扩展高速 DSP 与外围器件之间的接口, 同时还起数据缓冲作用。FPGA 芯片选用 Xilinx 公司生产的 XC3S1000, 配置芯片使用 XCF04S。

2.4 系统电源设计

整个成像系统电路输入的电源为模拟 6V 和数字 5V。模拟 6V 给探测器适配系统供电, 完成探测器的偏置电压生成及视频调理电路的供电等。

数字 5V 给预处理电路供电, 其中, DSP 需要的电压为 3.3-V I/Os、1.4-V Internal; FPGA 需要的电压为 VCCO (3.3V)、VCCINT (1.2V)、VCCAUX (2.5V); AD9248 需要的电压为 AVDD (3.0V)、DRVDD (3.3V)。3.3V、1.4V 和 1.2V 需要的电流较大, 因此使用 TI 公司生产的 TPS54310 芯片; 2.5V 仅用于 FPGA, 电流较小, 因此使用 LT 公司生产的 LT1963 芯片。在 A/D 转换电路中, 电源是设计过程中的一个关键因素, 必须认真考虑。因此, 模拟电源 (AVDD) 和数字电源 (DRVDD) 由两个独立的 LT1963 芯片提供, 以减少模拟电源和数字电源间的相互干扰。

3 系统实现

在系统中, FPGA 实现所有的时序控制功能, 包括探测器脉冲驱动时序、A/D 采样时序、与 DSP 的数据传输时序、Hotlink 传送时序及与图像处理板的传送时序。时序模块采用 VHDL 语言设计, 系统的整体设计采用 Active-HDL 8.1 软件进行。在对各个模块进行分别设计、仿真之后, 再把各个分模块组合起来, 形成整个系统设计。

FPGA 系统的数据流程为: FPGA 产生探测器所需的时序信号, 同时根据探测器输出像

素的时序控制 A/D 转换器对 2 个通道的视频模拟信号进行采样, 并将采样数据存入内部缓冲区, 然后通过 DSP 的 HPI 接口将数据写入 DSP 的内部存储器, DSP 完成非均匀校正后通过其 EMIF 接口将数据送回 FPGA, 最后由 FPGA 通过对外接口把图像数据送出。

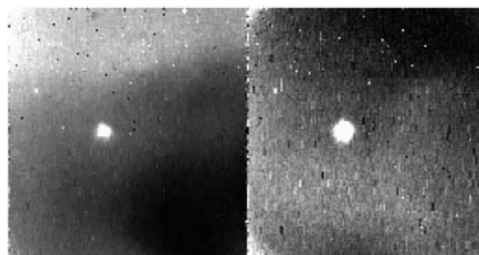


图 5 双色图像 (左为短波, 右为中波)

DSP 系统实现非均匀性校正算法, 本系统主要采用两点校正法。应用两点校正需有两个前提条件: 一是探测器的相应是线性的。二是探测器的响应必须具有时间稳定性。尽管探测器实际的响应是非线性的, 但在大部分区域误差不大。只有在输入极小和接近饱和时, 其响应才有比较大的非线性, 在忽略两端误差的情况下可以认为探测器的响应是线性的。DSP 的非均匀校正算法采用 C 语言实现。图 5 是校正后的短波、中波图像。

4 结论

在红外探测成像系统中, 如何为红外探测器匹配合适的外围电路是红外成像系统的关键设计。本文通过对 128×128 元双色焦平面探测器的成像电路进行设计, 为双色探测器组件提供了较好的图像预处理平台, 并取得了良好的效果。系统采用 DSP+FPGA 体系结构, 经过内场环境试验验证, 系统工作稳定、可靠。在对 128×128 元双色探测器的性能、稳定性等作进一步改进后, 可配合该成像电路系统应用于航空、气象等领域。

参考文献

- [1] 葛炜, 王君, 梁列国. 576×6 红外焦平面阵列驱动电路的设计与实现 [J]. 激光与红外, 2007, 37(6): 530-533.

(下转第 38 页)