

一种全谱段多光谱遥感的星上信息处理系统

戴立群¹, 徐丽娜¹, 周建勇²

(1. 北京空间机电研究所, 北京 100094; 2. 重庆光电技术研究所, 重庆 400060)

摘要:全谱段多光谱星上信息处理系统应用于某型号多光谱传感器,由可见光信息处理电路及红外信息处理电路构成。该系统基于推扫成像的传感器设计方案,通过外同步控制方式,完成了可见光、短中波红外、长波红外探测器的时序控制与驱动、模拟信号采集与处理、数字信号整合与格式编排等功能,具有多焦面同步工作、采集模拟通道多、信噪比高的特点。最终系统共采集32路模拟图像信号,输出量化位数为14 bit,五路串行LVDS输出,单路数据率为30 Mbps。在给定的测试条件下,实验室环境实测可见光通道、短波红外通道信噪比分别达到307和422,中波红外通道、长波红外通道NETD分别达到0.14 K和0.16 K。并使用可见光通道进行了外景成像,得到了良好的图像数据。通过实验室测试及外景成像验证了本系统能够满足传感器使用需求。

关键词:空间多光谱传感器;信息获取与处理;信噪比

中图分类号:V443+.5 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2017.06.021

Signal process system for space-borne multi-spectral sensor

DAI Li-qun¹, XU Li-na¹, ZHOU Jian-yong²

(1. Beijing Institute of Space Mechanics&Electricity, Beijing 100094, China;

2. Chongqing Optoelectronics Research Institute, Chongqing 400060, China)

Abstract:Signal process system is applied in a space-borne multi-spectral sensor, and it is composed of visual information process circuit and infrared information process circuit. Based on pushbroom imaging, the system adopted external synchronous control to complete some functions of visual, short-wave infrared, middle-wave infrared and long-wave infrared detectors, including sequential control and driving, collecting and processing of analog signals, integration and formatting of digital signals. This system has the characteristics of multi FPA synchronization, large number of analog outputs, high signal to noise ratio. Eventually, the system samples 32 analog video signals, outputs 14bit data and 5 serial LVDS channels by 30 Mbps transmission rate in single channel. Under given test conditions in laboratory, the results indicate that the SNRs of visual and short-wave infrared channel are 307 and 422, meanwhile the NETDs of middle-wave and long-wave infrared channel are 0.14 K and 0.16 K. An imaging experiment in visual channel acquired good image data. The test in laboratory proves that the system can meet the demands of multi-spectral sensor application.

Key words:space-born multi-spectral sensor; signal process; SNR

作者简介:戴立群(1983-),男,工程师,从事空间红外光学遥感电子学总体设计,宇航红外焦平面探测器应用技术,空间机械制冷机应用技术研究工作。E-mail: dailiqun508@sina.com

收稿日期:2016-09-18; **修订日期:**2016-11-01

1 引言

近年来,全谱段多光谱遥感技术逐渐得到用户的高度重视。多光谱遥感技术在矿物找矿^[1]、地震灾情监测与评估、洪涝灾害监测与评估^[2]、水质评价与水污染防治^[3]等方面有较高的应用价值^[4],用户对多光谱遥感器的需求也十分迫切。

空间多光谱遥感器采用 CCD/CMOS、MCT、量子阱等多种探测器技术覆盖遥感器所需的全部光谱范围,一般具有焦面多、探测器输出通道多、焦面间同步工作、信噪比要求高等特点,因此星上信息处理电路的设计相对复杂。

某型号空间全谱段多光谱遥感器通过推扫成像系统获得从可见光到热红外的地面景物信息。本文设计的星上信息处理系统完成可见光、短中波红外、长波红外探测器的驱动与信号处理功能,同步各焦面工作,通过 LVDS 接口输出数字化的图像数据。在 PCB 布局布线、电源滤波、接口及电缆方面进行了低噪声优化,获得了较高的信噪比。

2 多光谱遥感器的探测器技术

多光谱探测器技术不同于单一波段的探测器技术,其包含了多个光谱谱段的辐射敏感单元,结合了成像技术与光谱测量技术,获取的信息不仅包括二维空间信息,还包含随波长分布的光谱辐射信息。多光谱探测器充分利用地物在不同光谱区的辐射特性来获得多个光谱谱段的遥感图像。丰富的目标光谱信息结合空间影像极大地提高了目标探测的准确性,扩展了传统探测器技术的功能^[5]。

本文研究的全谱段多光谱遥感器可见光近红外通道采用多色 CCD 器件,由 4 个多光谱光敏区组成。探测器构成示意图如图 1 所示。

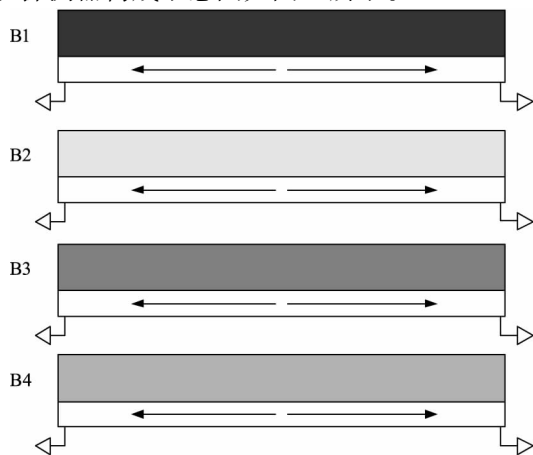


图 1 多光谱 CCD 器件组成示意图

Fig. 1 Diagram of multi-spectral CCD structure

每谱段 2 个输出抽头,共有 8 个输出抽头。

该 CCD 具有 4 个感光谱段,每个谱段有独立的驱动时序信号,以实现对该谱段的像元积分、转移与读出,共 16 路,4 谱段共计 64 路时序驱动信号。满足 CCD 工作要求的时序驱动信号数量多、相互时序关系要求复杂。

短中波通道采用光伏碲镉汞(PV MCT)焦平面探测器,由 4 个多光谱光敏区组成。探测器构成示意图如图 2 所示。每谱段 3 个输出抽头,共有 12 个输出抽头。

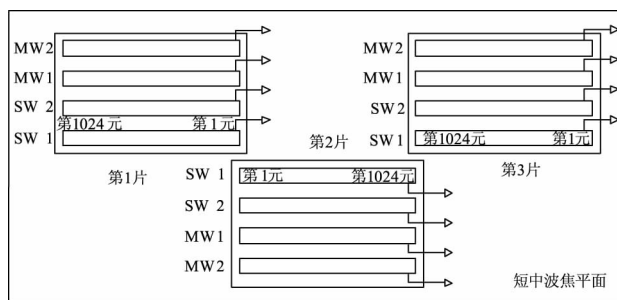


图 2 短中波探测器组成示意图

Fig. 2 Structure of short and middle wave infrared detector

该短中波探测器具有 4 个感光谱段,每个谱段有独立的驱动时序信号,以实现对该谱段的像元积分与读出,共 9 路,4 谱段共计 36 路时序驱动信号。满足探测器工作要求的时序驱动信号数量多、相互时序关系要求复杂。同时,短中波探测器的电源及偏置电压数量较多,单片达 16 种,共计 48 种。且偏置电压的偏差会造成探测器工作点的偏移,影响探测器输出噪声、输出电压范围甚至使其工作不正常。因此偏置电压的准确度与噪声控制十分重要。

长波通道同样采用光伏碲镉汞(PV MCT)焦平面探测器,由 4 个多光谱光敏区组成。探测器的组成及工作原理与短中波探测器相同,仅在像元数上有区别,在此不再赘述。

3 星上信息处理系统的设计

全谱段多光谱遥感器的星上信息处理系统由可见光信息处理电路及红外信息处理电路构成。该系统基于推扫成像的遥感器设计方案,通过外同步控制方式,完成了可见光、短中波红外、长波红外探测器的时序控制与驱动、模拟信号采集与处理、数字信号整合与格式编排等功能。

3.1 可见光信息处理电路设计

3.1.1 电路组成

可见光信息处理电路由 CCD 电路、驱动电路、时序控制电路、信号处理电路组成。

可见光信息处理电路内部通过柔性 PCB 传输模拟图像信号、CCD 偏置信号、CCD 驱动信号及 TDI 级控制信号,通过供电接口接收二次电源供电,通过遥测遥控接口接收遥测遥控信号,通过图像接口发送数字化后的图像数据。可见光信息处理电路的组成及接口关系如图 3 所示。

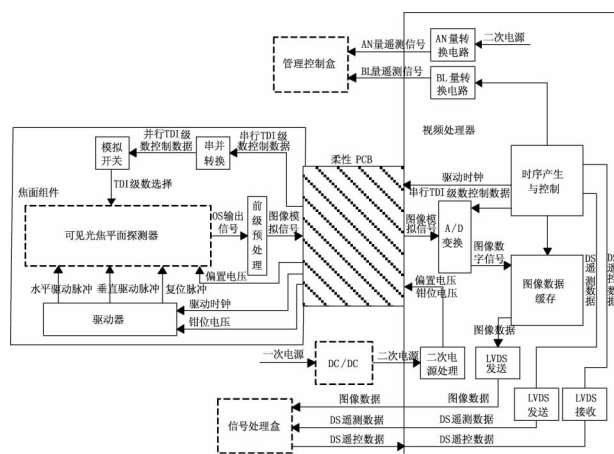


图 3 可见光信息处理电路原理组成框图

Fig. 3 Composition of visual information process circuit

3.1.2 电路设计

(1) CCD 电路设计

CCD 电路与 CCD 器件直接相连。主要完成 CCD 器件的部分直流偏置电平转换、运算放大器供电,利用跟随器对 CCD 输出的模拟视频信号进行阻抗变换,为后续模拟视频信号的数字化做准备。

(2) 驱动电路设计

驱动电路分为复位脉冲驱动模块、水平脉冲驱动模块和垂直脉冲驱动模块,各模块均使用常用的 CCD 驱动芯片。其主要功能为:根据时序控制板送过来的钳位电平和驱动时序向 CCD 电路板提供 CCD 器件需要的驱动信号;对时序控制板送过来的钳位电平信号进行滤波和分配。

(3) 时序控制电路设计

时序控制电路接收外部单机提供的遥控信号和同步信号,根据遥控信号完成 TDI 级数及行周期

(积分时间)设置;产生 CCD 器件工作所需的所有时序,使 CCD 完成像元积分、垂直转移、水平转移、信号电荷读出;将反映电路工作状态的遥测信号提供给外部单机。时序的产生、控制采用大规模可编程门阵列(FPGA)实现。

本设计中采用的 FPGA 为 ACTEL 公司生产的 Flash 结构芯片,该芯片包含 1 百万门逻辑单元,最高工作频率可达 350 MHz,核电压为 1.5 V,支持多种接口电平,内嵌 144 块 1 kbit RAM 存储模块。

(4) 信号处理电路设计

信号处理电路为 FPGA 及 ADC 芯片提供工作所需的各路电源,接收 CCD 输出的模拟视频信号,对 ADC 的工作时序进行控制,完成模拟视频信号的采样及模数转换,将量化后的图像数据进行缓存,按照规定的图像格式编排后,通过 1 路 LVDS 接口将 B1 ~ B4 谱段的图像数据发送至外部单机,传输码速率为 30 Mbps,最终通过图像快视设备将图像显示出来。

由于 CCD 包含 B1 ~ B4 共 4 个谱段,各谱段采用双抽头输出,因此采用 4 片 16 位 ADC 芯片将 8 路图像模拟信号转换为 32 路图像数字信号。A/D 量程具有 2 V 或 4 V 可选,双通道最高工作频率可到 7.5 MHz,量化精度为 16 bit。外围电路设计原理图如图 4 所示。

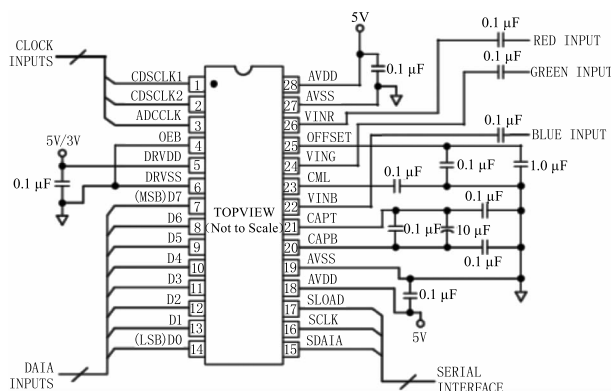


图 4 A/D 转换部分电路设计原理图

Fig. 4 A/D convertor circuit schematic diagram

3.2 红外信息处理电路设计

3.2.1 电路组成

红外信息处理电路主要由驱动电路、时序电路、直流偏置电路、模拟前置放大电路、信号处理

电路等部分组成,包含短中波红外信息处理电路及长波红外信息处理电路,两者组成相同,本文以短中波红外信息处理电路为例介绍,长波电路不再赘述。

红外信息处理电路通过与红外探测器的接口发送红外探测器驱动、偏置信号,接收探测器输出的模拟信号,通过供电接口接收二次电源供电,通过遥测遥控接口接收遥测遥控信号,通过图像数据接口发送数字化后的图像数据。红外信息处理电路的组成及接口关系如图 5 所示。

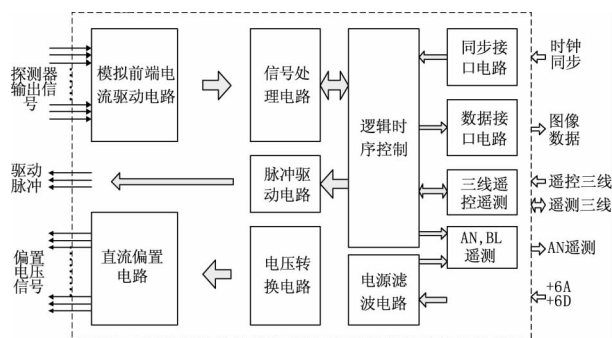


图 5 红外信息处理电路原理组成框图

Fig. 5 Composition of infrared information process circuit

3.2.2 电路设计

(1) 驱动电路设计

红外探测器每个谱段工作所需的时序脉冲信号共 3 路,分别为主时钟 MC、积分信号 INT、串行配置信号 Serdat。为实现每个谱段可单独调整积分时间和增益的需求,设计时 MC、INT 与 Serdat 信号各谱段独立,不存在共用情况。

根据红外探测器驱动脉冲工作要求,其脉冲电压为 0 ~ 5 V,频率为 2.5 MHz。选用 SN7414 缓冲器作为脉冲驱动器,该芯片最高工作电压 5.5 V,最大输出电流可达 ± 50 mA,脉冲上升/下降时间小于 15 ns,可满足探测器驱动脉冲要求。

原始时序脉冲输入信号来自 FPGA 的 TTL 电平,其电压为 0 ~ 3.3 V,通过缓冲器后,脉冲电压变为了 0 ~ 5 V,然后输入杜瓦驱动红外探测器。

(2) 时序电路

红外信息处理电路中的时序采用大规模可编程门阵列(FPGA)产生,功能包括:接收外部单机发送的同步信号,产生红外探测器工作的行信号;根据同步信号及积分时间控制指令产生探测器工

作所需的全部时序信号;接收遥控指令并解码,获取有效的遥控指令信息,完成各谱段积分时间增益的设置;输出反映当前工作状态的遥测;按 ADC 芯片工作所需配置时序对寄存器进行配置,使其工作在两通道 4 V p-p 量化范围模式;把 A/D 转换后的高低交替输出的 8 bit 数据解码为并行输出 16 bit 数据,并分离出通道 1 和通道 2 的数据;按照规定的图像格式编排后,通过 2 路 LVDS 接口分别将 B5B6 和 B7B8 谱段的图像数据发送至外部单机,传输码速率为 30 Mbps,最终通过图像快视设备将图像显示出来。

FPGA 仍然选用 ACTEL 公司生产的 Flash 结构芯片,与可见光电路所用 FPGA 相同。

(3) 直流偏置电路设计

红外探测器的直流偏置信号直接影响探测器的输出噪声,因此对噪声要求非常高,通常为 $100 \mu\text{V} \sim 1 \text{ mV}$,但对驱动电流的要求较低,通常小于 10 mA。运算放大器是一种较为合适的直流偏置信号驱动器。本设计选用四通道单电源运算放大器,其工作电压为 5 V。

红外探测器有工作有 +5 V、+3.1 V、+3 V、+2.65 V、+2.4 V、0.5 ~ 2 V 可调、1.6 ~ 4.4 V 可调等多种直流偏置电压要求。在电路设计时,+5 V 电压采用固定电压输出电源芯片产生,其余电压采用电位器调节或精密电阻分压,然后采用运算放大器电流放大增强驱动能力。

(4) 模拟前置放大电路设计

红外探测器内部采用 CMOS 读出电路,其输出负载驱动能力较弱,需要在输入信号处理电路前进行电流驱动能力放大,本设计采用了四通道单电源运算放大器对探测器输出信号进行了电流放大。在电流放大的同时,对模拟信号进行低通滤波,有效降低了模拟通道随机噪声。放大器的输出端也设计了低通滤波电路对模拟信号进行滤波,起到降低噪声的作用。

(5) 信号处理电路设计

信号处理电路接收红外探测器输出的模拟视频信号,对 ADC 的工作时序进行控制,完成模拟视频信号的采样及模数转换。由于短中波红外探测器包含 B5 ~ B8 共 4 个谱段,每谱段采用三抽头输出,因

此采用6片16位ADC芯片将12路图像模拟信号转换为共48路图像数字信号。选用与可见光信息处理电路相同的ADC芯片,因此电路设计可见光电路基本相同。

由于在本设计中,信号处理电路使用的双通道采样保持工作模式,所以在采样时钟时序设计和数据解码时序设计时必须满足图6时序关系要求。根据图6输出数据的时序关系,通过FPGA程序对两通道高低字节信号进行解码,形成16bit并行图像数据。

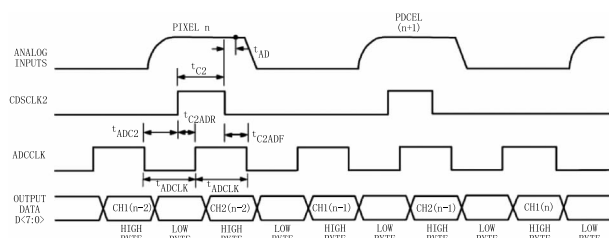


图6 红外信息处理电路ADC采样保持时序关系

Fig. 6 ADC sample and hold timing
of infrared information process circuit

3.3 低噪声设计

低噪声设计对遥感器的信息处理电路十分重要,是遥感器达到较高信噪比的关键。为实现低噪声,主要在PCB布局布线及地线、电源滤波、接口及电缆方面进行了针对性设计。

3.3.1 PCB布局布线及地线设计

PCB采用多层板设计,除信号层外,设置多个地线层及电源层,保证信号层和电源层都与地线层都紧贴,使其信号和地线层的环流面积最小。

在电路板上数字区域和模拟区域分开,数字地和模拟地也按数字器件和模拟器件摆放位置分割。相邻两个信号层的走线尽量保持垂直;电路板上没有直角走线,均为 45° 角走线;走线中,避免长距离平行走线,不得不走平行线的情况下,尽量增大导线之间的间距。每个走线层都紧贴着地层,并且保证数字信号走在数字地的上层,模拟信号走在模拟地的上层,模拟信号不跨越数字地,数字信号不跨越模拟地。关键信号采用地线包络。

3.3.2 电源滤波设计

为了有效地降低二次电源的纹波噪声,在二

次电源输入端采用了差模电感形成的II型滤波电路,同时还起到了抑制外部干扰的作用。在有源器件电源端,均采用了一大一小电容搭配使用的方式供电滤波,既达到提供电流作用,又对高频纹波起抑制作用。直流偏置在探测器的近端进行电容滤波处理。

3.3.3 接口及电缆设计

在电路的对外接口上按模拟信号和数字信号分开,电缆也按模拟部分和数字部分分别传输。对同一类信号进行屏蔽,确保互不串扰,关键信号采用双绞线。模拟信号电缆整体屏蔽,确保电缆内部信号不受外部信号的干扰。

4 系统信噪比/NETD实测结果

将天顶角 30° 、反照率50%的典型条件折算为积分球辐亮度,通过星上信息处理系统采集图像,实测可见光通道 $SNR=307$,短波通道 $SNR=422$ 。

使相机对300 K黑体成像,通过星上信息处理系统采集图像,实测中波通道 $NETD=0.14$ K,长波通道 $NETD=0.16$ K。

应用此星上信息处理系统的全谱段多光谱遥感器经过了实验室性能测试及可见光通道外景成像,外景成像结果如图7所示。



图7 可见光通道外景成像结果

Fig. 7 Scene imaging result of visual channel

5 结论

结合多光谱探测器技术的诸多特点,介绍了一种全谱段多光谱星上信息处理系统的设计,主要包括可见光信息处理电路及红外信息处理电路的探测器驱动、时序控制、模数转换、信号处理等部分的实现方法。

测试结果表明,系统共采集32路模拟图像信号,输出量化位数为14 bit,五路串行LVDS输出,单路数据率为30 Mbps。在给定的典型测试条件下,实验室环境实测可见光通道、短波红外通道信噪比分别达到307和422,中波红外通道、长波红外通道

NETD 分别达到 0.14 K 和 0.16 K。星上信息处理系统具有良好的性能,能够满足遥感器实际应用需要。

参考文献:

- [1] WANG Xiaofei, ZHANG Le, ZHANG Dingsheng, et al. Application of infrared multi-spectral remote sensing in geological exploration[J]. Earth, 2014, (7): 179 – 346. (in Chinese)
王晓飞, 张乐, 张定胜, 等. 史明. 红外多光谱遥感技术在地质找矿中的应用[J]. 地球, 2014, (7): 179 – 346.
- [2] WANG Futao, WANG Shixin, ZHOU Yi, et al. Application and prospect of multi-spectral remote sensing in major natural disaster assessment[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(3): 577 – 582. (in Chinese)
王福涛, 王世新, 周艺, 等. 多光谱遥感在重大自然灾害评估中的应用与展望[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(3): 577 – 582.
- [3] ZHU Li, YAO Yanjuan, WU Chuanqing, et al. Remote sensing monitoring on water quality of interior water body based on the HJ – 1 satellite multi-spectral data[J]. Geography and Geo-Information Science, 2010, 26(2): 81 – 84. (in Chinese)
朱利, 姚延娟, 吴传庆, 等. 基于环境一号卫星的内陆水体水质多光谱遥感监测[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(2): 81 – 84.
- [4] FAN Bin, CAI Weijun, ZHANG Hongxiao, et al. Technology of the multi-spectral camera of ZY – 3 satellite[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2012, 33(3): 75 – 84. (in Chinese)
范斌, 蔡伟军, 张孝弘, 等. “资源三号”卫星多光谱相机技术[J]. 航天返回与遥感, 2012, 33(3): 75 – 84.
- [5] ZHENG Liangliang, ZHANG Guixiang, JIN Guang. High-speed imaging circuit system for multispectral TDI CCD[J]. Chinese Journal of Optics, 2013(6): 939 – 945. (in Chinese)
郑亮亮, 张贵祥, 金光. 高速多光谱 TDI CCD 成像电路系统[J]. 中国光学, 2013(6): 939 – 945.