

文章编号:1007-2780(2012)06-0842-05

TDICCD 相机成像系统地面检测系统设计

李云飞, 赵运隆

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail:liyf@ciomp.ac.cn)

摘 要: 针对 TDICCD 成像系统在研制过程中对地面检测的各种需求, 设计了一套地面检测设备, 按照功能划分为供电仿真系统、测控仿真系统、485 总线监视系统、图像数据采集系统等。设计出的地面检测设备已经成功配合完成了某遥感相机的研制, 并交付使用。实验证明该系统工作稳定, 灵活可靠, 满足了 TDICCD 成像系统检测的要求。

关 键 词: TDICCD; 成像系统; 地面检测设备

中图分类号: TB853, TH761.6

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20122706.0842

Design of Ground Test Equipment for TDICCD Camera Imaging System

LI Yun-fei, ZHAO Yun-long

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail:liyf@ciomp.ac.cn)

Abstract: A complete test equipment has been prepared for a TDICCD imaging system, being composed of power-supply simulation system, test-control simulation system, 485 bus monitor system, image data collection system. The equipment has successfully been performed to cooperate with the development of someone remote-sensing camera. The experimental results indicate that this equipment works stably, high effectively and can meet the test requirements of TDICCD imaging system.

Key words: TDICCD; imaging system; ground test equipment

1 引 言

遥感相机是常见的有效载荷, 主要完成航天对地光学成像、探测器光电响应、成像数据获取与实时处理以及图像数据的传输等实质性任务, 同时实现与平台之间的通讯、在轨的自检与定标等功能。遥感相机是由很多子系统组成的复杂系统, TDICCD 成像系统是这些系统中较重要的子系统。这就迫使研究人员在发射前尽量利用地面检测设备对其进行周密严谨的检测, 尽可能模拟

空间环境和各种故障模式, 期望设计最高可靠度的成像系统。

地面检测设备^[1] (以下简称“地检设备”) 具有很强的专用性, 针对不同的子系统可能需要设计不同的地检设备。尽管如此, 地检设备要完成的最终任务可以说是相同的, 即要检验载荷功能完备性和可靠性。

本文结合实际工程研究, 阐述了 TDICCD 成像系统地检设备的系统组成、工作原理, 部分设备采用了现有工业成熟产品, 部分设备采用了自己

收稿日期: 2012-06-24; 修订日期: 2012-08-21

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61036015)

作者简介: 李云飞(1971—), 男, 吉林榆树人, 工学博士, 副研究员, 主要研究方向为光电成像中计算机应用技术。

研制的产品,这样节约了研制成本,缩短了研制周期。该设备通过软件与硬件的组合,实现了可靠性高、智能性强的特点,为空间遥感相机 TDICCD 成像系统的研制提供了一种很好的解决方案。

2 地检设备组成及研制

成像系统地检设备是相机成像系统在地面进行调试和性能检测的重要设备,从某种意义上讲,地检设备就是代替所有与成像系统有关的接口单元,配合成像系统实现规定的功能。因此,地检设备的研制依据是与成像系统有关的研制任务书或者需求分析说明。

地检设备需要通过与一系列的接口单元进行数据流交换来验证成像系统内外通讯、软硬件工作是否正常,为正式使用之前提供充分必要的测试数据,以确认相机成像系统能够满足功能及性能指标要求。

相机成像系统地检设备包括供电仿真系统、测控仿真系统、485 总线监视系统、图像数据采集系统以及必要的线缆连接组件。如图 1 所示,下面分别介绍地检设备各个部分的功能设计。

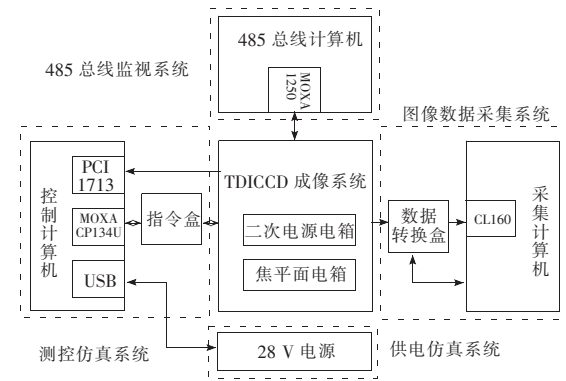


图 1 地检设备组成框图

Fig. 1 Frame of test equipments at ground

2.1 供电仿真系统

相机成像系统在轨运行时的电源来自载荷平台配电盘提供的+28 V 母线电源^[2],那么地检设备首先要模拟平台提供的母线一次电源,才能展开后续的相机成像系统检测。为了保证电源稳定可靠,本文选用南京艾德克斯公司生产的 IT6153 直流电源,该电源输入为 AC 220 V,额定输出为 30 V×18 A,具有极高的分辨率和精度,具有过电流 OCP,过电压 OVP 及过温度 OTP 保护功

能,具有 VFD 高亮度荧光屏显示,可使用数字键盘快速直接输入设定电压及电流,支持 IEE488/USB/RS232 通讯接口,使用标准 SCPI 通讯协议。

该电源可与计算机连接,使用厂家提供的监控软件,通过计算机可以控制该电源及监控电源的输出。监控软件画面如图 2。

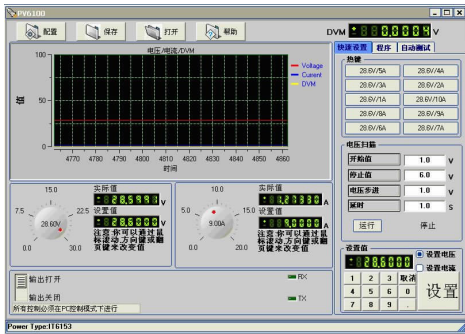


图 2 28 V 电源监控画面

Fig. 2 Monitor of 28 V power

2.2 测控仿真系统

测控仿真系统包括指令发生器、信号遥测监视仪、仿相机控制器单元。

2.2.1 指令发生器

指令发生器模拟相机控制系统向相机成像系统发送控制指令。控制信号接口一般采用集电极开路(OC 门)、LVDS 接口。控制计算机通过 RS-422 串行通讯接口给指令盒的 FPGA 发送指令,指令盒中的 FPGA 产生相应的信号向相机成像系统发送控制指令,指令发生器软件画面图如图 3 所示。



图 3 指令软件

Fig. 3 Instruction software

2.2.2 信号遥测监视仪

在轨运行的遥感相机成像系统关键的信号需

要由遥测通道给出。这些信号是判断相机成像系统是否正常工作的判据。在地检设备中,通过研华公司的 PCI1713 模拟信号采集卡将相机成像系统的关键信号采集到测控仿真系统中的控制计算机中,通过软件,将相机成像系统的关键信号显示在监视器上,这样我们就能够判断相机成像系统是否正常工作。相机成像系统的关键信号采集显示见图 3 右侧的模拟量采集。

2.2.3 仿相机控制器单元

仿相机控制器单元由控制计算机、仿星控制软件、MOXA CP134U 卡构成。

仿星控制软件见图 4,它可设置相机成像系统的工作参数及工作模式,设置好的参数打包通过 RS-485 总线发送给相机成像系统。仿星控制软件可以向相机成像系统发送各种指令,相机成像系统对各种指令进行执行,并将对各种指令的反应显示在仿星控制软件界面的成像遥测返回数据显示区及接收区。

仿星控制软件使用 VC++6.0 编写的,在编写的过程中考虑了相机成像系统对各种指令的执行顺序,若要相机成像系统下电,必须首先发出“CCD 下电”指令(在停止摄像前为灰色,无法点击),反之将会损坏相机成像系统。这样在地检软件层面保证操作者只能进行正确的操作,屏蔽不正确操作。

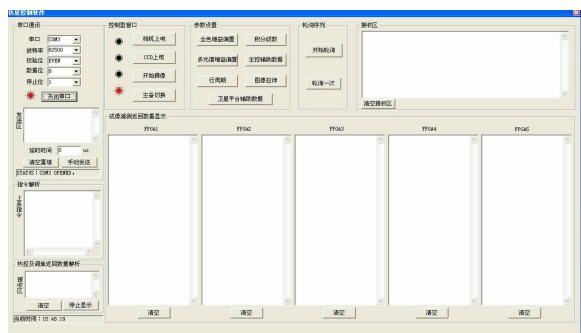


图 4 仿星控制软件

Fig. 4 Satellite platform simulation software

2.3 485 总线监视系统

总线监视系统由工控机、MOXA1250 卡、总线监视软件构成。总线监视软件如图 5 所示。

总线监视系统的主要功能是监视仿相机控制器单元发出的各种指令及相机成像系统对各种指令响应的返回,并将操作及返回的数据记录保存

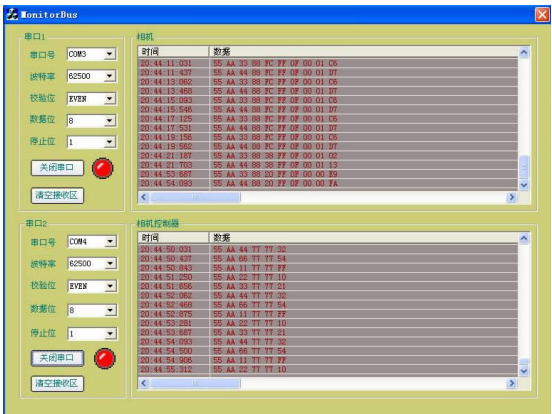


图 5 总线监视软件

Fig. 5 Bus Monitor Software

起来,以便提供给研制人员最客观的分析依据。

总线监视软件使用 VC++6.0 编写,它能记录指令发送和返回参数的事件,使任何操作都有案可查^[3]。这样不仅使研制人员更加谨慎,而且从质量管理的角度来看,有助于质量的过程控制。

2.4 图像数据采集系统

图像数据采集系统是地面检测设备中最直观的设备,能够直接看到图像数据,便于判断 TDICCD 成像系统是否正常工作。它由采集计算机、IO INDUSTRIES^[4] 公司的 DVR Express CL160 采集卡、数据转换盒构成,数据转换盒实物如图 6 所示。

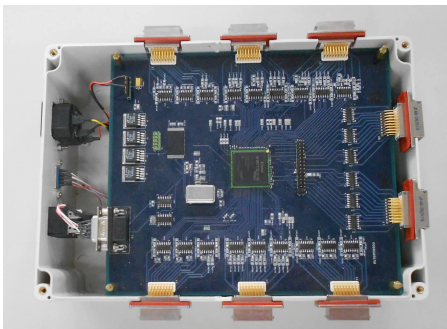


图 6 数据转换盒

Fig. 6 Data transition box

本系统中,TDICCD 成像系统由 6 片 TDICCD 拼接组成,每片 TDICCD 的数据经整合后一路输出,接口形式采用并行 10 bit 数据位、1 bit 时钟位以及 1 bit 门控位的 LVDS。由于每片 TDICCD 像元数为 6 144 个,像元时钟为 110 MHz,行频最

高为 14 kHz,图像数据前有 32 字节的辅助数据,每行输出数据个数为 6 176 个。每路的数据量最高为 103.73 MB/s,如此高的数据吞吐量要求采集系统设计具有高速传输的特性。TDICCD 成像系统要求实时采集、显示和存储成像系统某一路输出的图像数据,为了完成 6 片 TDICCD 图像数据的拼接,必须获取同一时刻 6 片 TDICCD 输出至少 2 000 行图像数据。还有,项目要求该图像数据采集系统能够测量 TDICCD 的调制传递函数。

现在绝大多数采集系统,只能循环采集多路信号,不能实时同步采集多通道的同一个采样点。这样不能满足对多通道信号进行相关信息的分析^[5],而本采集系统的实现恰恰弥补了传统采集系统的不足之处。

一块 DVR Express CL160 采集卡能够采集 10 bit LVDS 图像信号,当其挂接 5 块 SCSI 硬盘时,其连续存储速率超过 132 MB/s。其能够采集 TDICCD 成像系统某一路输出的图像数据,但不能够采集成像系统同一时刻 6 片 TDICCD 输出的图像数据。考虑上述技术特点和难点,本系统的实现采用了将并行图像缓存与高速采集卡相结合的方式。

并行图像缓存由数据转换盒中的 FPGA 与 SDRAM 来完成。FPGA 选用了 Vertex II Pro 系列高性能 FPGA,型号为 VC2VP40。各路的数据被采集并缓存至相应的 SDRAM 中,输出时选择要输出的图像数据,从 SDRAM 中读出,经过输出 FIFO 的缓冲,将间歇读出的图像数据整合成以行为单位的连续图像数据,经过输出模块转换为采集卡需要的格式进行最终的存储^[6]。

SDRAM 由于受到激活、刷新等操作的限制无法做到长字节的连续存储,因此选用了 FIFO 作为 SDRAM 的输入缓存。由于专用的高速 FIFO 芯片价格昂贵容量受限且不利于系统集成,系统采用 FPGA 内部的 Block RAM 资源生成 FIFO,深度为 8 192,宽度 10 bit,为了适应高速读写的需要,选用了 FWFT 模式。FIFO 的作用主要是缓存一行图像数据,接收到缓存命令后,当图像数据流的行使能信号有效时,数据写入 FIFO,一行数据缓存完毕,FIFO 输出 prog_ful 信号,通知后续模块读取数据。缓存 FIFO 的读出速度受到 SDRAM 的最高工作频率限制,系统选

用的 SDRAM 为 MT48LC16M16A2,最高工作频率 143 MHz,实际使用频率为 130 MHz,因此 FIFO 的读出速率也是 130 MHz。写入的是连续的图像数据,受到 SDRAM 操作限制读取时是间歇性的,总体读取速度慢于写入速度,而下一行图像数据流到来时,又将新的图像数据写入 FIFO,如何保证在高速写入低速读取的情况下,相邻的 2 行图像数据不发生重叠? 通用的方法是采用 FIFO 的乒乓操作,写入第一个 FIFO 时,读取第二个 FIFO,写入第二个 FIFO 时,读取第一个 FIFO。这种方法可行但会使 FIFO 的使用数量增加一倍,耗费大量的 Block RAM 资源,且增加系统逻辑设计的复杂度。本设计巧妙地利用了 TDICCD 图像数据的行间隔时期,经过计算,保证了 2 行图像数据的不重叠,计算如下:

以最高行频为 14K 计算,行周期为 71.43 μs ,以 110 MHz 时钟写入 6 176 个图像数据耗时:

$$\frac{6176}{110} = 56.15 \mu\text{s} \quad (1)$$

$$\text{行间隔为: } 71.43 - 56.12 = 15.28 \mu\text{s} \quad (2)$$

SDRAM 突发长度为 8,一次连续写入 32 个数据,最多耗时 42 个时钟周期,写入一行图像数据耗时:

$$\frac{1}{130} \times \frac{6176}{32} \times 42 = 62.35 \mu\text{s} \quad (3)$$

在一行数据写入期间,每隔 705 个时钟周期需要刷新一次,每次需要占用 8 个时钟周期,刷新耗时:

$$\frac{1}{130} \times \frac{6176}{32} \times 42 \times \frac{8}{705} = 0.71 \mu\text{s} \quad (4)$$

所以向 SDRAM 缓存一行图像数据共需花费的时间为:

$$62.35 + 0.71 = 63.06 < 71.43 \mu\text{s} \quad (5)$$

由计算可以看出,从行间隔时期开始读取,读完一行图像数据的耗时小于一个行周期,即保证了在下一行图像数据完全写入 FIFO 前上一行图像数据已全部被 SDRAM 读取,从而防止了 2 行图像数据的重叠。

为了验证图像数据采集系统是否满足设计要求,分别采用 TDICCD 成像系统内部自校图形成生器和实际 6 路 TDICCD 图像数据对系统进行了单路和多路采集存储验证。实验表明,图像数据采集系统工作稳定可靠,能完成多路高速 TDICCD

