

支持像移补偿功能面阵 CCD 相机驱动电路系统

任 航

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室,
吉林 长春 130033)

摘 要: 为了设计一种支持电子式像移补偿功能的高帧频大面阵 CCD 驱动电路, 满足像移补偿功能。论文首先给出了大面阵 CCDFTF5066M 的基本驱动电路, 然后在其基础上通过增加一个“像移补偿时序发生器”与主时序发生器 SAA8103 配合工作来实现电子像移补偿, 给出了“像移补偿发生器”内部设计结构, 所增加的像移补偿时序发生器只用于产生曝光期间所需的几个垂直转移驱动时序和转发 SAA8103 产生的时序信号。选择了 FPGA 作为像移补偿时序发生器, 并且进行了时序仿真。最后对设计的驱动电路进行了室内像移补偿实验验证, 取得了很好的补偿效果, 该驱动电路系统支持最大帧频可达 2.7 F/s, 信噪比达到了 66 dB。该驱动电路能方便地选择输出通道数量和输出方式, 使相机适用于不同的场合。

关键词: 面阵 CCD; 驱动电路; 像移补偿; 时序驱动

中图分类号: TN141.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)03-0941-06

Driver circuit system of area CCD which supports image motion compensation

Ren Hang

(Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to design a high frame, large array driver circuit which supports electronic image motion compensation function, meet the function of image motion compensation. First, the basic driver circuit of the large array CCD FTF5066M was given, and added an "image motion compensation timing generator" which worked together with the main timing generator SAA8103 was added to achieve the electronic image motion compensation. Then the internal structure of the "image motion compensation timing generator" was given, the additional image motion compensation timing generator was only used to produce the vertical transfer drive timing, timing signals and transfer the timing signals produced by SAA8103. The FPGA as the image motion compensation timing generator was selected, and the timing simulation was done. In the end, indoor experiment of image motion compensation was given to test the driver circuit designed. The good compensation effect was achieved. The driving circuit system supported a maximum frame rate up to 2.7 F/s, signal to noise ratio reached 66 dB. This driver-circuit can conveniently select output channel number and output mode, the camera is suitable for different occasions.

Key words: area array CCD; drive circuit; image motion compensation; timing-driven

收稿日期: 2014-07-05; 修订日期: 2014-08-10

基金项目: 国家自然科学基金(11305033)

作者简介: 任航(1982-), 助理研究员, 博士, 主要研究方向为 CCD 驱动电路设计、图像处理。Email: renhang10@163.com

0 引言

高帧频,大面阵 CCD 传感器在航天航空,数字摄影,医疗,国防,高分辨率图像场合有着很大的需求,国内和国外已经采用高帧频高分辨率的面阵 CCD 超高像素数字相机,而国内正对此需求迅速增长。因此,研究高帧频高像素大面阵 CCD 数字相机对国内具有非常大的意义。

文中在 FTF5066M 基本驱动电路基础上,通过在系统中增加一个“像移补偿时序发生器”与主时序发生器 SAA8103 配合工作来实现电子像移补偿,提出了“双时序发生器”驱动电路结构^[1-2],所增加的像移补偿时序发生器只用于产生曝光期间所需的几个垂直转移驱动时序和转发 SAA8103 产生的时序信号,不仅支持电子像移补偿,还支持输出通道数量和输出方式的灵活选择。

1 FTF5066 基本驱动电路

FTF5066M 是世界上最大的 CCD 生产商加拿大 DALSA 公司生产的一款分辨率高达 33 M 的全帧型单色 CCD 图像传感器^[3]。FTF5066M 具有宽动态范围,低噪声,大填充率等优点。利用四通道同时输出可以达到 2.7 F/s 输出率^[4-5]。

图 1 给出了 FTF5066M 电路系统的基本驱动电路框图,系统由时序脉冲发生器(SAA8103),垂直驱动器(用于提高垂直驱动能力)(TDA9991)、水平驱动器(用于产生 CCD 直流偏置电压与水平驱动电平)(74ACT04)、直流偏置电路、前端信号处理(用于黑电平箝位补偿、放大、相关双采样和模数转换 AD9824),系统控制器(P89LPC935)以及 Camera link 接口电路(DS90CR287)组成组成,最终通过图像采集卡将图像传送给 PC。

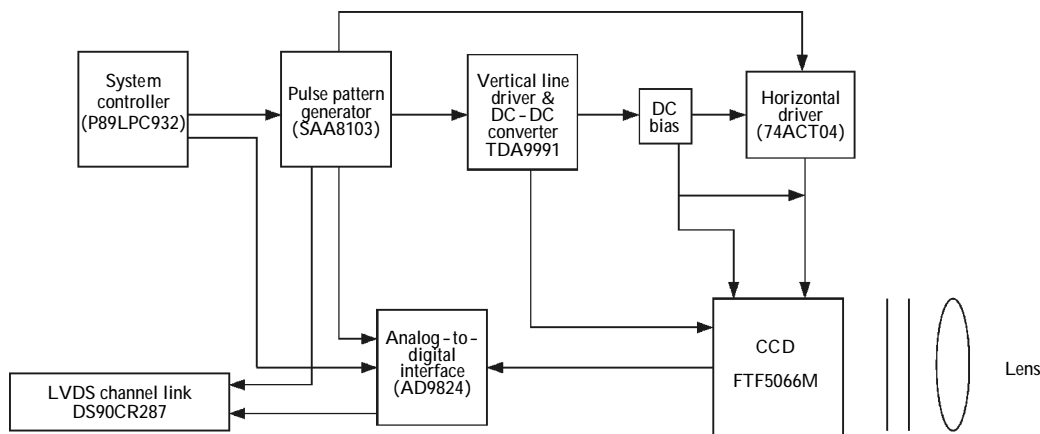


图 1 FTF5066M 基本驱动电路系统结构图

Fig.1 FTF5066M basic drive circuit system structure

2 支持像移补偿全帧 CCD 驱动电路组成及总体设计

为了实现支持像移补偿的全帧 CCD 驱动电路,文中提出一种“双时序发生器”CCD 驱动电路结构,此方法是基于所设计的驱动电路进行的改进。系统由“像移补偿时序发生器”与主时序发生器 SAA8103 配合工作来实现电子像移补偿,其驱动时序产生方法如图 2 所示,其静止积分所有时序由 SAA8103 产生,FPGA/CPLD 负责转发,像移补偿积分时序中的垂直转移时序由 FPGA/CPLD 产生,其

他时序由 SAA8103 产生,FPGA/CPLD 负责转发。其驱动时序组成框图由图 3 所示^[6-7]。

系统中 CCD 采用四路并行输出结构,进行电子像移补偿时,CCD 光敏区的所有电荷都同时朝一个方向移动,而进行电荷输出时,光敏区上半部的电荷朝上移动,下半部的电荷朝下移动,这样下半部分的电荷转移方向就发生了改变。为了实现方向可变的电荷转移,设计中对 CCD 进行分块独立驱动,其中光敏区上半部使用 A1T~A4T 驱动,下半部使用 A1B~A4B 驱动,水平输出寄存器左部使用 C1L~C3L 驱动,右部使用 C1R~C3R 进行驱动,各块的电荷转移方向由各驱动时钟的相位关系确定^[8-9]。

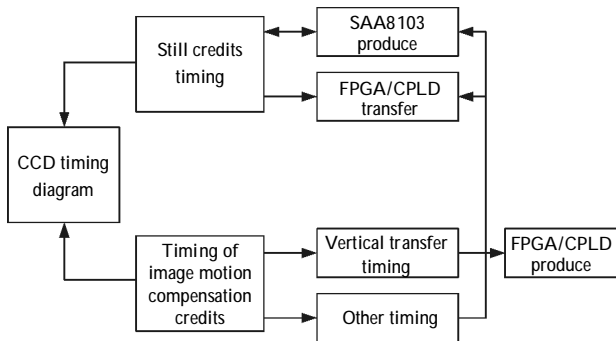


图 2 驱动时序产生方法框图

Fig.2 Block diagram of driver timing method

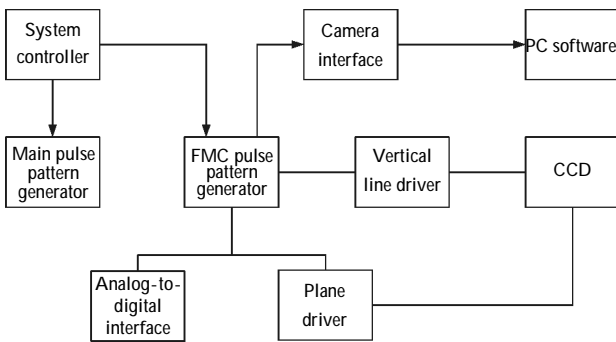


图 3 驱动时序组成框图

Fig.3 Block diagram of driver timing

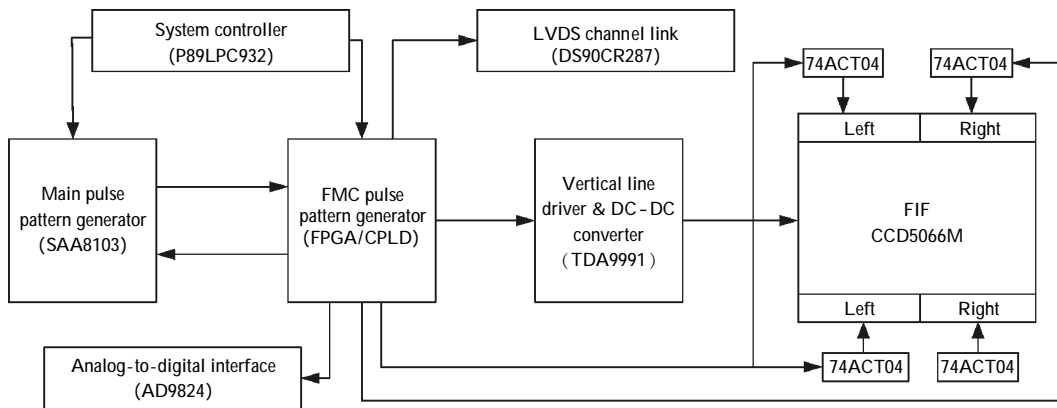


图 4 支持像移补偿全帧 CCD 驱动电路构成

Fig.4 Structure of the CCD driver circuit which supports image motion compensation

图 4 给出了所设计的支持像移补偿功能全帧型驱动电路系统的电路框图，系统由大面阵 FTF5066M, 主时序脉冲发生器(SAA8103)(用于产生 CCD 所需时序)、像移补偿时序发生器(CPLD)(用于产生像移补偿垂直时序)，垂直驱动器(用于提高垂直驱动能力)、水平驱动器(用于产生 CCD 直流偏置电压与水平驱动电平)、直流偏置电路、前端信号处理器(用于黑电平箝位补偿、放大、相关双采样和模数转换)、系统控制器(单片机)以及 Camera link 接口电路组成。

系统中移补偿时序发生器 (FMC pulse pattern generator) 是一个 CPLD/FPGA 器件,其主要作用是产生像移补偿所需的垂直转移驱动时序并转发、分配主时序发生器(Main pulse pattern generator)SAA8103 产生各种时序。CCD 曝光期间^[10-11],FTF5066M 所需的垂直转移驱动时序(A1~A4 和 VA high)由像移补偿时序发生器产生,经过 TDA9991 放大后驱动 CCD 进行电子像移补偿,其他时序则由 SAA8103 产生,由像移补偿时序发生器转发给系统的其他部分;CCD 电荷转移输出和空闲期间所需的各种时序则全由 SAA8103 产

生,由像移补偿时序发生器转发给系统的其他部分,驱动 CCD 进行电荷转移输出或待机^[12-13]。

3 像移补偿产生电路设计

像移补偿时序发生器的设计,根据其功能,将它划分 6 个模块,如图 5 所示各部分的划分及功能如下:

(1)总线接口模块(3-wire bus interface)接收系统控制器传来的像移补偿时间间隔信息 Timer setting);

(2)像移补偿定时和控制模块(FMC timer and controller):在曝光期间根据时间间隔信息(Timer setting)产生间隔为 $W/4v$ 的定时脉冲,并根据工作状态产生 SAA8103 的触发信号和时序切换信号(Switch);

(3)垂直转移时序产生模块(FMC V-clock generator):根据定时脉冲产生图 7-9 所示的像移补偿驱动时序(A1~A4 和 VA high);

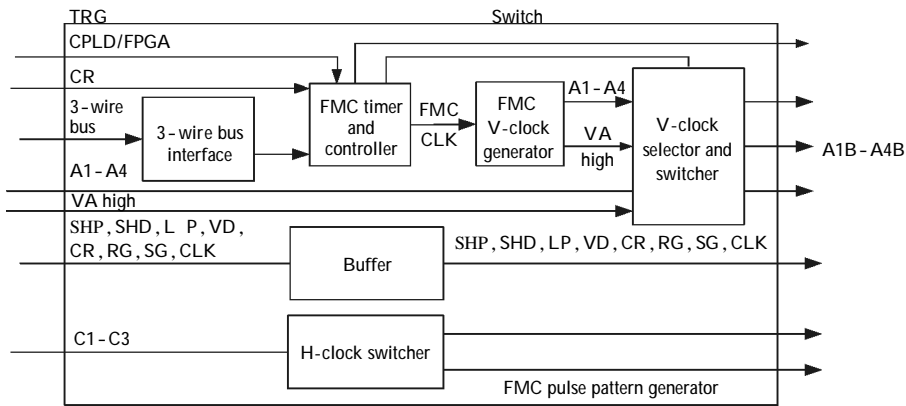


图 5 像移补偿时序发生器内部功能框图

Fig.5 Internal functional block diagram of the image motion compensation timing generator

(4)垂直转移时序选择和分配模块(H - clock selector and switcher):在曝光期间选通 FMC V - clock generator 产生的 A1~A4 和 VA high 信号,在电荷输出和空闲期间则选通 SAA8103 产生的 A1~A4 和 VA high 信号,并将选通的 A1~A4 信号分配为 A1T~A4T 和 A1B~A4B 两路,并在分配过程中控制每路的相位关系^[13-15];

(5)水平转移时序分配模块(H - clock switcher):将 SAA8103 产生的水平转移时序 C1~C3 分配为 C1L~C3L 和 C1R~C3R 两路,在分配过程中控制每路的相位关系;

(6)信号缓冲转发模块(buffer):转发 SAA8103 产生的其他时序信号。

4 像移补偿时序发生器的芯片选择及仿真实现

系统采用 Xilinx 公司的 XC3S400 型号的 FPGA 作为像移补偿时序发生器,所用软件是 ISE8.2,使用 VHDL 语言对 FPGA 内部硬件电路进行模块化设计^[11]。

图 6 给出了面阵 CCDFTF5066M 在进行像移补偿期间的曝光期间垂直转移时序驱动图,其中 SHUT 为快门触发的信号。A1-A4 为垂直转移驱动时钟,VA high 是高电平转移时钟,TG 为转移时钟。曝光时垂直转移驱动按照像移速度以行步长为单位转移,跟踪像移的移动,同时转移完毕之后,水平时钟对电荷进行读出。同时曝光结束,这时候按正常时序进行工作。

对程序进行系统仿真后的时序图如图所示。像移补偿时序 Modelsim 仿真结果如图 7 所示,可看出

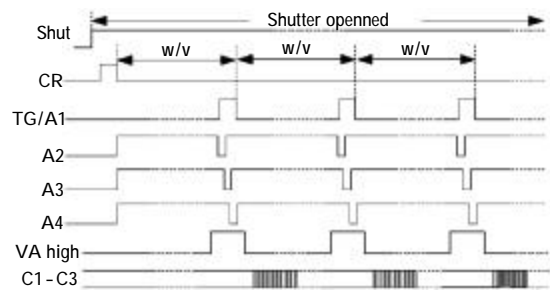


图 6 电子像移补偿曝光期间垂直转移驱动时序

Fig.6 Vertical drive timing during the image motion compensation

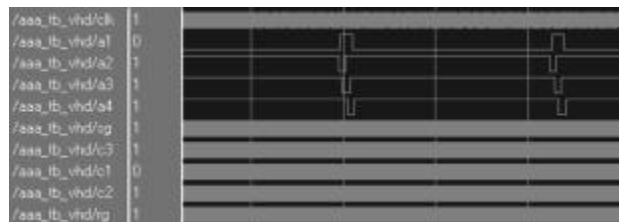


图 7 垂直转移时序图波形仿真图

Fig.7 Waveform diagram of the vertical transfer timing diagram

该时序符合要求。将编程完成的程序下载到 FPGA 中,通过 Modelsim 软件可以看出其垂直转移水平转移的波形仿真图,满足成像要求的驱动时序图。

5 像移补偿成像实验

像移补偿实验模拟航空相机前向像移补偿模糊成像情况,在室内采集模糊成像时候,考虑让相机与景物进行相对运动,运动方式为匀速平移方式,选择固定相机,移动景物的方式,把景物固定在可以移动装置上面,通过相对运动模拟相机在运动。相机可以

选择逐帧成像方式,同时可以选择不同曝光时间,这样就可以模拟不同条件下的像移模糊图像。

对设计的 CCD 驱动电路进行模拟拍摄实验。实验装置由 CCD 相机,像移模拟发生装置,PC 机组成。其中 CCD 相机由所设计的驱动电路系统外加一个可调焦镜头构成;如图 8 所示;设转速为,相机和像移模拟装置之间的距离为,则模拟像移速度计算公式为,其中最短距离为 0.3 m,V 最快移动速度为 50 mm/s,完全符合文中所选择的速高比。其中计算机用于控制相机进行拍摄,改变电机转速并向相机发送转速信息,计算机中安装了 Camra Link 图像采集卡,用于采集拍摄的图像。其中相机的焦距为 90 mm,面阵 CCD 相机像元尺寸为 9 μm^[8-10]。CCD 驱动电路和 PC 机连接,通过 RS232 接口控制来工作,图像采集卡负责采集图像,相机电路产生像移补偿时序信号,利用 VC++ 软件编写串口软件采集图像,利用 MATLAB 对图像采集的数据进行分析。

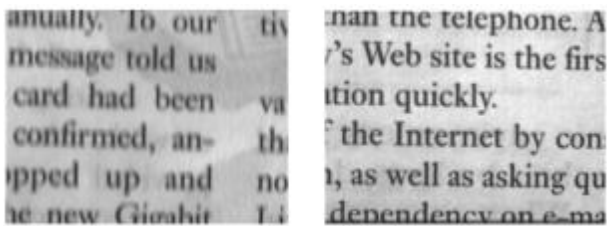


图 8 像移模拟装置图

Fig.8 System which imatite image motion compensation

根据以上提出的设计方案,进行了电路系统的原理图和 PCB 设计,最后完成了实际电路的调试。所设计的系统工作正常,稳定可靠,能获得清晰的图像。当曝光时间为 10 ms 时,帧频率达到了 2.7 F/s。

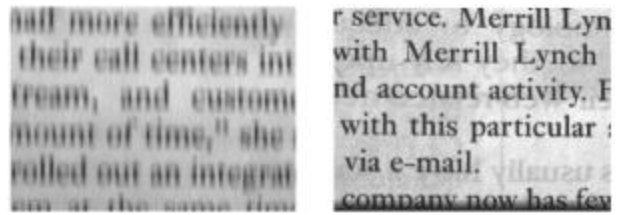
实验时对转动的传送带进行拍摄,分别采集不同转速下未进行像移补偿和进行了改进式电子像移补偿的图像,图 9 给出了拍摄所得的一系列图像的局部图,拍摄时快门时间为 10 ms。



(a)没有像移补偿

(b)像移补偿后

(a)No image motion compensation (b)After the image motion compensation



(c)没有像移补偿

(d)像移补偿后

(c)No image motion compensation (d)After the image motion compensation

图 9 不同像移速度下使用改进的电子像移补偿前后图像对比

Fig.9 Contrast of the image in diffent image motion compensation speeds that use improved electronic image motion compensation

从图 9 可以看出,随着模拟像移速度越来越快,像移量随之增大,图像越来越模糊。而文中所设计的驱动电路可以很好的对其产生的像移进行像移补偿,满足了要求,可见该驱动电路能取得很好的补偿效果。

6 结 论

文中在面阵 CCDFTF5066M 基本驱动电路的基础上,为了实现支持像移补偿的全帧 CCD 驱动电路,提出一种“双时序发生器”CCD 驱动电路结构,同时设计了其像移补偿发生器,利用 FPGA 作为像移补偿发生芯片。并进行了仿真,最后给出了具体实验,实验证明该方法取得了很好的补偿效果。采用“双时序发生器”结构可以充分利用系统原有时序发生器的硬件资源,最大限度地保留了原电路技术成熟、稳定可靠、调试方便的优点;所增加的像移补偿时序发生器只用于产生曝光期间所需的几个垂直转移驱动时序和转发 SAA8103 产生的时序信号,因此开发难度较低,相对于重新设计时序发生器而言可以大大降低开发难度和缩短开发周期。该驱动电路系统支持最大帧频可达 2.7 F/s,信噪比达到了 66 dB,所设计的电路系统采用了分块独立驱动技术,各块的电荷转移方向可以设定,因此能方便地选择输出通道数量和输出方式:当 CCD 应用于低速场合时,采用单路输出,以达到更好的输出一致性,当 CCD 应用于高速场合时,则采用多路输出,以达到更高的输出速率。

参 考 文 献:

[1] Liu Guanglin. Research on driver circuit and Analog-Front-End key technology based on high frame CCD[D]. Chengdu: Institute of Photoelectric Technology, Chinese Academy of

- Sciences, 2008: 2-138. (in Chinese)
- 刘光林. 高分辨率大面阵 CCD 驱动与前端信号处理技术研究[D]. 成都: 中国科学院光电技术研究所, 2008: 2-138.
- [2] Liu Guanglin, Yang Shihong, Wu Qinzhang. Design for high resolution CCD camera with high frame rate[J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2007, 28(5): 735-738. (in Chinese)
- 刘光林, 杨世洪, 吴钦章. 高分辨率大面阵 CCD 相机的高帧频设计[J]. *半导体光电*, 2007, 28(5): 735-738.
- [3] Liu Guanglin, Yang Shihong, Wu Qinzhang, et al. Design of high resolution camera system based on full frame CCDs[J]. *Journal of Graduate University of Chinese Academy of Sciences*, 2007, 24(3): 320-324. (in Chinese)
- 刘光林, 杨世洪, 吴钦章, 等. 高分辨率全帧 CCD 相机电路系统的设计[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2007, 24(3): 320-324.
- [4] Shang Xiaochuan, Zhou Hui, Zhang Xingxiang, et al. The driver circuit high frame design of the large array CCD.[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2009, 24(5): 789-793. (in Chinese)
- 商小川, 周辉, 张星祥, 等. 基于 FPGA 的大面阵 CCD 高帧频驱动电路的设计[J]. *液晶与显示*, 2009, 24(5): 789-793.
- [5] Shang Xiaochuan. Design of FPGA-based ultra-high-pixel CCD Driving system[D]. Changchun: Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, 2010. (in Chinese)
- 商小川. 基于 FPGA 的超高像素 CCD 驱动系统设计[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2010.
- [6] Yang Shaohua, Guo Ming'an, Li Binkang, et al. Design of mega pixels digital EMCCD camera [J]. *Opt Precision Eng*, 2011, 19(21): 2970-2976. (in Chinese)
- 杨少华, 郭明安, 李斌康, 等. 百万像素电子倍增 CCD 数字化相机的设计[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(21): 2970-2976.
- [7] Luo Tongding, Li Binkang, Guo Ming'an, et al. Remote image acquisition system with scientific grade CCD [J]. *Opt Precision Eng*, 2013, 21(2): 496-502. (in Chinese)
- 罗通顶, 李斌康, 郭明安, 等. 科学级 CCD 远程图像采集系统[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(2): 496-502.
- [8] Xu Wenhai, Wu Houde. Design of ultra-high resolution CCD imaging systems [J]. *Opt Precision Eng*, 2012, 20(7): 1603-1610. (in Chinese)
- 许文海, 吴厚德. 超高分辨率 CCD 成像系统的设计[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(7): 1603-1610.
- [9] Zhao Huijie, Liu Xiaokang, Zhang Ying. CCD imaging electrical system of AOTF imaging spectrometer [J]. *Opt Precision Eng*, 2013, 21(5): 1291-1296. (in Chinese)
- 赵惠洁, 刘小康, 张颖. 声光可调谐滤波成像光谱仪的 CCD 成像电子学系统[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(5): 1291-1296.
- [10] Ma Qingjun, Song Kefei, Qu Yi. Design of CCD circuit systems for ultraviolet limb imaging spectrometers [J]. *Opt Precision Eng*, 2011, 19(7): 12-17. (in Chinese)
- 马庆军, 宋克非, 曲艺. 紫外临边成像光谱仪 CCD 电路系统的设计[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(7): 12-17.
- [11] Liu Yanyan, Li Guoning. Detection and record system of real time for static transfer function of the big visual field TDI CCD camera[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(9): 2515-2521. (in Chinese)
- 刘妍妍, 李国宁. 大视场 TDI CCD 相机静态传递函数实时检测与记录系统 [J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(9): 2515-2521.
- [12] Zhang Yu, Wang Wenhua, Li Guoning, et al. Real time correction method of smear phenomenon based on interline transfer area CCD [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(9): 2515-2521. (in Chinese)
- 张宇, 王文华, 李国宁, 等. 行间转移面阵 CCD 漏光现象的实时校正方法[J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(7): 1952-1958.
- [13] Liu Zexun, Quan Xianrong. Calibration of CCD camera's output non-uniformity linear corrected coefficient [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(8): 2211-2215. (in Chinese)
- 刘则洵, 全先荣. CCD 相机输出非均匀性线性校正系数的定标[J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(8): 2211-2215.
- [14] Emi Miyata, Chikara Natsukari, Daisuke Akutsu, et al. Fast and flexible CCD-driver system using fast DAC and FPGA [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 2001, A459: 157-164.
- [15] Ralf Kohley, Juan Manuel Martin-Fleitasa, Lluís Cavaller-Marques, et al. CCD camera and data acquisition system of scientific instrument ELMER for the GTC 10 m telescope[C]// *SPIE*, 2004, 5492: 475-483.