太阳 X-EUV成像望远镜的移动补偿系统

张 鑫 苏东林 李保权 彭吉龙

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083) (中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080)

摘 要: 卫星帆板转动和自身颤动会导致太阳 X射线-极紫外射线 (X-EUV)成像望远镜的成像质量下降. 用移动补偿系统控制相机的 CCD驱动器,使势阱转移到相邻相的位置上,转移的方向正好与图像在传感器上移动方向一致,使得图像的每个光子在移动后仍然落入传感器的同一个势阱内,补偿由于帆板移动造成的图像偏移. CCD相移沿列的方向进行,而CCD的列平行于东西向. 高精度太阳敏感器使用两轴直角坐标来定位太阳的位置. 移动补偿系统只使用其中一个轴向数据,由于南北指向误差远远小于东西指向,因此不对南北指向补偿. 该移动补偿系统利用高精度太阳敏感器构成半闭环控制系统,通过偏移 CCD势阱来实现一个方向上的移动补偿. 该方案可以在不增加成本的前提下,消除长时间曝光过程中的太阳的平移和帆板颤动对图像质量造成的影响,扩大动态观测范围.

关 键 词: 空间天气;空间望远镜;移动补偿

中图分类号: TH 753. 19

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965 (2007) 03-0319-03

Jitter compensation system in solar X-EUV imaging telescope

Zhang Xin Su Donglin

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Li Baoquan Peng Jilong

(Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The constant attitude control motions of the satellite often result in a platform that is not stable enough for mounting a high-resolution telescope. The jitter compensation system commands the CCD camera to shift one phase in the appropriate direction so that light from a point of the sun will continue to fall into the same CCD potential well. The CCD pixels phase shift along the detector's columns which are aligned parallel to east-west. The high accuracy sun sensor (HASS) uses two reticles, which one is for each axis to determine the relative position of the sun. Only one axis of the HASS data is used for motion compensation. The north-south pointing errors are significantly smaller then the east-west errors, and are not compensated for by the system. The jitter compensation system incorporates HASS that is used in a semi-closed loop system to shift the CCD potential wells in order to compensate for jitter in one dimension. The motion compensation system can remove the solar "drift" and the solar array jitter during the exposure, and the X-ray imaging performance will be improved.

Key words: space weather; space telescope; jitter compensation

随着航天活动的不断发展和卫星异常情况的频繁出现,空间天气正在受到越来越多的关注和重视. 所谓空间天气是指发生在太阳上和太阳风、磁层、电离层和热层中影响空间、地面技术系统的运行和可靠性及危害人类健康和生命的条件[1-4],它直接影响在轨航天器的安全运行、宇航

收稿日期: 2006-04-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40474069)

作者简介: 张 鑫 (1977 -),男,河北邢台人,博士生, zhangxin@ee. buaa. edu. cn.

员太空行走、GPS定位、电波传输、磁场导航、输电网络等人类的正常活动,有时能够造成灾难性后果.我国目前正在研制太阳 X射线-极紫外射线(X-EUV)成像望远镜,该望远镜可以满足国内空间天气预报目标监测需求,建立起我国自主的空间天气预报监测系统[1-4].

在空间环境下成像时,卫星平台以及太阳帆板的各种振动对 CCD成像质量有较大影响.产生这种振动的原因包括:卫星平台上由于调整姿态(动量轮变速转动或喷气等)、指向控制、太阳帆板调整等运动.这些因素都会引进各种频率的振动,在实际系统中各种振动是随机的,可以同时产生,振动模式比较复杂[5].太阳 X-EUV成像望远镜要求保持对日准直,卫星本体难以提供该项条件,而太阳帆板始终面向太阳,因此将该望远镜设计安装在太阳帆板的衍架上,可以满足望远镜东西指向要求.而南北指向由安装在衍架上的 X射线位置调节器(XRP, X-Ray Positioner)提供.在望远镜长时间曝光过程中(最长曝光时间超过 3 s),太阳相对图像传感器的漂移、太阳帆板的间歇转动以及颤动会严重降低望远镜成像质量.

针对这种情况,有两种方法可以提高成像质量,主动抑制和被动补偿.主动抑制方式就是在星-镜之间安装振动隔离装置[6],从而有效抑制帆板的振动对镜体成像的影响.但是该方式增加卫星成本,加大控制系统的难度,延长研发的周期.而本文结合图像传感器的驱动特点,提出采用被动补偿的方式成像,可以在不增加成本的前提下,消除长时间曝光过程中的消极因素,提高图像成像质量.

1 太阳 X-EUV成像望远镜简介

太阳 X-EUV成像望远镜安装在地球同步卫星上,该卫星对地定向,三轴稳定,安装位置参看图 1星镜结构图,该安装方式类似美国 SXI/GOES的安装[7-9].

太阳帆板自转可以实现一维对日准直(东西方向).由于卫星与地球同步,并且帆板面向太阳,所以卫星上的太阳帆板每天相对卫星旋转一周,即每 24 h转动 360°,平均自转角速度 15″/s.南北向准直由 XRP提供,太阳在南北回归线之间移动,在冬至或者夏至时刻,南北准直偏角可以达 23.5°,在一年时间内,南北向控制极角偏移量为 23.5°×4 = 94°,太阳在南北向平均偏移速度极小,约 0.064″/h.参考美国 SXI/GOES的太阳帆板工作方式[5, 10],太阳帆板并不是匀速转动,而是做间歇式运动,在第一阶段以 25″/s速率转动 30 s,在第二阶段保持 15″/s速率跟踪太阳,然后间歇 20 s,在这 20 s内望远镜完成曝光成像,参看图 2东西指向仿真[11].

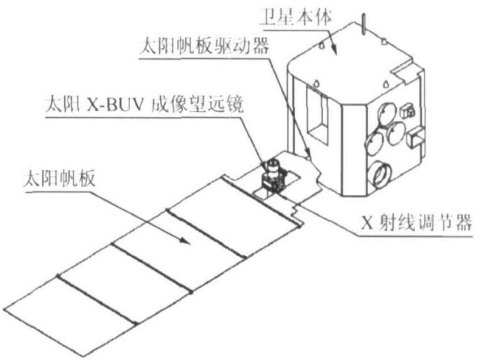

图 1 星镜结构图

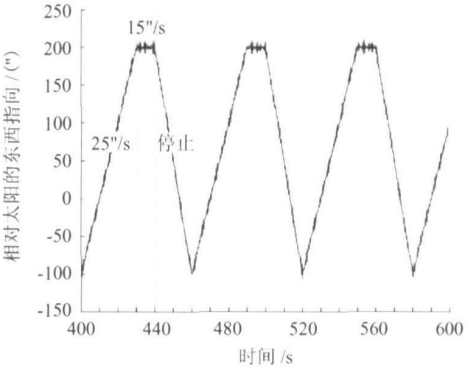

图 2 东西指向仿真

2 移动补偿设计

高精度太阳敏感器(HASS, High Accuracy Sun Sensor),可以敏感太阳辐射,从而获得太阳矢量相对镜体本体坐标系的方位.目前应用 CCD的数字式太阳敏感器较多,CCD太阳敏感器包括线列 CCD数字式太阳敏感器和面阵 CCD式太阳敏感器.数字式的太阳敏感器的视场一般在 ±60°左右,其精度能够达到 ≤0.05°.其原理是采用太阳光通过狭缝照射在 CCD探测器上,通过计算太阳成像偏离 CCD中心的位置来计算太阳光的夹角.其工作波段多采用 0.4～1.1 m的可见光波段.在太阳 X-EUV成像望远镜准直系统中使用的是 CCD数字式太阳敏感器.在镜体上安装俯仰和偏航两个大视场数字编码式 HASS,这两个传感器成"十"字排列,构成东西向和南北向方位检测系统.

太阳 X-EUV成像望远镜图像传感器采用电荷耦合器件(CCD, ChargeCoupledDevice),CCD

的首要功能是完成光电转换,即产生与入射的光谱辐量度成线性关系的光电荷,并被 CCD收集到势阱内. CCD完成光电转换后,将进行电荷转移,按一定的时序在电极上施加高低电平,可使光电荷在相邻的势阱间进行转移.通常把 CCD的电极分为几组,每一组称为一相,并施加同样的时钟脉冲[10, 12].太阳 X-EUV成像望远镜采用三相驱动电路,使用三相驱动转移 CCD电荷的过程可以参看图 3 CCD电荷转移,这里不再赘述.

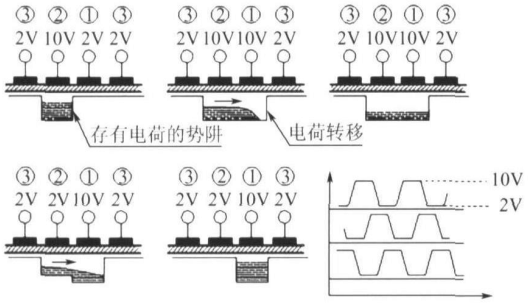

图 3　CCD电荷转移

CCD像素 1024 ×1024,成像面积 13mm × 13mm.太阳 X-EUV成像望远镜视场角 45′,对应 CCD成像区域为直径 8.7mm的圆盘.因此 CCD每个像素对应视场角为 4″,约 0.001°.根据 GOES卫星数据估计,太阳帆板的振荡频率约 1.86 Hz,振幅在 50μrad,约 0.003°.根据香农采样定理,HASS检测频率不小于 45 Hz,即可检测出超过 CCD一个像素的振动. HASS分辨率选用 1.3″,这个分辨率与 3相 CCD中的 1相尺寸一致.这样当 HASS检测到太阳向东或向西移动超过 1.3″,即一个像素的 1/3时, HASS输出的数字值会增加或减少 1.望远镜数据处理单元 (DPU, Data Processing Unite)根据 HASS输出值,驱动 CCD向相应的方向偏移 1相,这样即使望远镜相对目标正在运动,太阳光上的某点的光子仍会落入 CCD中的同一个势阱,参看图 4移动补偿系统原理图.

CCD像素相移沿着列方向进行,而列的方向平行于东西向.这样 CCD就完成了针对振动造成目标偏移的补偿.该补偿只针对东西向的运动做补偿,而对于南北向,由于太阳偏移速率极小, XRP调整的时间间隔可以达到 2 h,由此造成的南北向指向误差要比东西向的小,因此不考虑南北向移动补偿.

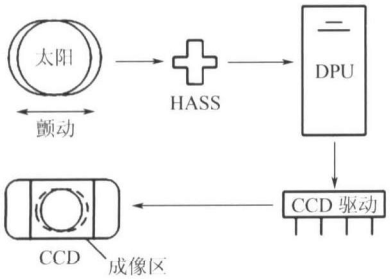

图 4　移动补偿系统原理图

3　移动补偿系统可行性分析

一般情况下,日面侧翼活动区视场小于 35′,太阳 X-EUV成像望远镜视场角为 45′,这样实现包含侧翼活动区全日面成像,望远镜视场两侧还有 5的余量.这个余量为太阳在 CCD面上的移动提供了一个空间,减少长时间曝光时图像移出 CCD的可能性. 5的余量能够提供 CCD 20 s的成像时间,满足望远镜物理设计的最长 10 s的曝光需求.

针对 HASS 45 Hz的采样速率,要求 DPU和 CCD驱动电路的相应时间总和小于 22 ms DPU负责接收 HASS的数据并计算偏移量, DPU采用高速数字信号处理器 (DSP, Digital Signal Processor),单步指令周期 50 ns处理 HASS数据的算法造成的延时在 1ms内.另一部分延时由 CCD驱动电路驱动 CCD相移产生, CCD驱动时钟采用 1MHz的频率,则 CCD每次相移延时 1ms因而总的电子学系统延时在 2ms内,能够满足补偿太阳帆板振动的需要.

4　结　论

基于 CCD成像的特点设计的移动补偿系统,具有响应频率快,实现成本低的特点.在原有系统设计中,卫星帆板从运动转入静止开始,前 10 s内是不进行成像的,因为帆板作为一个大型柔性构件,在刚刚静止的时候,本身会产生谐波振动,振动幅度随时间逐渐减小.因此前 10 s不成像的目的是为了避开帆板的谐波振动对镜体的准直度的影响.但是由此带来的问题是卫星留给太阳 X-EUV成像望远镜的成像曝光时间最长只有 10 s虽然这个时间能够满足目前物理设计需求,但是卫星在轨运行期间,曝光时间会根据实际成像效果调整,也就是说该曝光时间有可能会延长.所以引入移动补偿系统,可以保证望远镜在帆板振动甚至于正在移动过程中成像,大大增加了望远镜的动态成像范围,降低了载荷对卫星位姿稳定度的要求,节省了高稳定度卫星平台的研制费用.

(下转第 326页)

创建一个串口监视线程,各个子线程之间通过CEvent对象来实现同步,以保证数据采集的一致性,而主线程通过WaitForMultipleObjects函数来获悉各监控线程采集完毕,进行数据处理.为保证代码的通用性,全部采用API函数编写.软件采用VC++语言编写,具有友好的图像用户界面,方便与现场工作人员交互.在软件开发工作中,采用了模块化和多线程技术,可以根据现场实际情况和现场工作人员的要求方便、及时地改进软件设计.

4 结束语

针对顶桥施工位姿检测的要求设计和实现的新型光电位姿测量系统不仅完全能够满足现场测量需要,而且具有精度高、实时性好、成本低等优点,可以替代原有的人工测量方式,实现测量、施工的自动化,为国产大型工程施工位姿测量系统的研发提供了新技术.

参考文献 (References)

[1] Andrea U, Paolo D G. A multirate digital controller for nonholonomic mobile robot pose regulation via visual feedback [J]. WSEAS Transactions on Systems, 2006, 5(5): 1129 - 1136

[2] 陈海初,李满天,张蕊华,等.基于视觉反馈的全自动微小型轮式机器人[J].哈尔滨工业大学学报,2006,38(3):348 - 349,483
Chen Haichu, Li Mantian, Zhang Ruihua, et al. Autonomous miniature wheeled robot based on visual feedback[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(3): 348 - 349, 483 (in Chinese)

[3] 凌云,王一鸣,孙明,等.基于机器视觉的大米外观品质检测装置[J].农业机械学报,2005,36(9):89 - 92
Ling Yun, Wang Yiming, Sun Ming, et al. A machine vision based instrument for rice appearance quality[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2005, 36(9): 89 - 92 (in Chinese)

[4] 崔屹.图像处理与分析——数学形态学方法及应用[M].北京:科学出版社,2000:42
Cui Yi. Image processing and analysis—method and application of mathematical morphology[M]. Beijing: Science Press, 2000: 42 (in Chinese)

[5] Intel Corporation. Intel image processing library reference manual[M]. USA: Intel Corporation, 2000: 133-134

(责任编辑:张 嵘)

(上接第 321页)

参考文献 (References)

[1] 张鑫,苏东林,李保全,等. 太阳X-EUV成像望远镜波长选择装置[J].北京航空航天大学学报,2006,32(4):421 - 425
Zhang Xin, Su Donglin, Li Baoquan, et al. Filter wheel device in solar X-EUV image telescope[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics[J]. 2006, 32(4): 421 - 425 (in Chinese)

[2] 李保权,朱光武,王世金,等. 太阳X-EVU成像望远镜[J].地球物理学报,2005,48(2):235 - 242
Li Baoquan, Zhu Guangwu, Wang Shijin, et al. The solar X-EUV imaging telescope[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(2): 235 - 242 (in Chinese)

[3] Baker D N. What is space weather[J]. Adv Space Res, 1998, 22(1): 7 - 16

[4] Kathleen Freestone. Telemetry and control for the solar X-ray imager[R]. SXI-013, 1997

[5] 徐鹏,黄长宁,王涌天,等.卫星振动对成像质量影响的仿真分析[J].宇航学报,2003,24(3):259 - 263
Xu Peng, Huang Changning, Wang Yongtian, et al. Modulation transfer function in push-broom camera limits resulting from mechanical vibration[J]. Journal of Astronautic, 2003, 24(3): 259 - 263 (in Chinese)

[6] Pendergast Karl J, Schauwecker Chris J. Use of a passive reaction wheel jitter isolation system to meet the advanced X-ray astrophysics facility imaging performance requirements[J]. SPIE, 1998, 3356(2): 1078 - 1094

[7] Lemen J R, Duncan D, Edwards C, et al. Solar X-ray imager for GOES[J]. SPIE, 2003, 5171(1): 65 - 76

[8] Bornmann P L, Speich D, Hirman J, et al. GOES solar X-ray imager: overview and operational goals[J]. SPIE, 1996, 2812(2): 309 - 319

[9] Hill S, Pizzo V J. Advanced solar imaging from the GOES-R spacecraft[J]. SPIE, 2003, 4853(2): 465 - 478

[10] Stern R A, Shing L, Catura P, et al. Characterization of the flight CCD dectors for the GOES N and O solar X-ray imagers [J]. SPIE, 2003, 5171(1): 1 - 6

[11] Brennan Gantner L, James Lemen R, Christopher Edwards G, et al. A system to reduce jitter for the GOES N/O/P solar X-ray imager[J]. SPIE, 2004, 5171(2): 101 - 110

[12] Catura P R, Gantner B L, Jurcevich B K, et al. X-ray calibration of the GOES-N/O solar X-ray imagers[J]. SPIE, 2003, 5171(1): 1 - 10

(责任编辑:娄 嘉)