

文章编号:1007-2780(2017)12-0981-06

紫外临边探测光谱仪通讯与数传系统的设计与实现

于 涛

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:为了保证紫外临边探测光谱仪圆满完成工程任务,实现对地球临边光谱的观测研究,设计并实现了通讯与数传系统。首先,介绍了通讯与数传系统的构成及工作原理;其次,对通讯功能进行详细设计,提出一种基于通讯超时和数据错误的故障诊断与处理方法;然后,对数传功能进行详细设计,提出一种基于 8b/10b 的数据传输方法;最后,对紫外临边探测光谱仪在轨飞行的实验结果进行分析。实验结果表明:通讯与数传系统实现了高可靠的指令通讯及科学数据传输;环形成像仪的数传频率为 80 MHz,前向光谱仪的数传频率为 40 MHz,性能测试结果满足技术指标要求;RS-422 串行通讯过程中,字节间延时误差不大于 2 ms,接收消息与反馈消息的延时误差不大于 5 ms,有效提高了系统通讯的连续性、及时性和可靠性。

关键词:光谱仪;通讯;数传

中图分类号:V443+.5 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20173212.0981

Design and implement of communication and data transmission system for ultraviolet limb imaging spectrometers

YU Tao

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to ensure that the ultraviolet limb imaging spectrometers can finish the engineering task satisfactorily, monitor and research the earth limb spectrums, the communication and data transmission system was designed and implemented. Firstly, the structure and the operating principle of communication and data transmission system were introduced. Secondly, the function of communication was designed in detail, the fault diagnosis and treatment method based on communication timeout and data error was proposed. Then, the function of data transmission was designed in detail, the data transmission method based on 8b/10b was proposed. Finally, the experimental results of orbital flight were analyzed. The experimental results indicated that communication and data transmission system could realize the instruction communication and scientific data transmission. The data transmission frequency of annular spectrometer was 80 MHz, the data transmission frequency of forward spectrometer was 40 MHz and the performance test results satisfied the re-

收稿日期:2017-08-09;修订日期:2017-09-28.

基金项目:国家自然科学基金(No.41105014)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No.41105014)

* 通信联系人, E-mail: yut@ciomp.ac.cn

quirements of technical indexes. The results of RS-422 serial communication indicated that the delay error between byte and next byte was no more than 2 ms, the delay error between receiving message and feedback message was no more than 5 ms, which effectively improve the continuity, timeliness and reliability of communication system.

Key words: spectrometer; communication; data transmission

1 引言

大气层既是地球气候与环境的主要载体和活动舞台,又是空间天气与环境的重要组成部分,大气遥感对于大气物理学、气候学和天气预报等均具有十分重要的意义。随着技术的高速发展和应用,大气的探测和研究得到了广泛的发展。特别是由于卫星遥感比地基观测具有更高的空间覆盖率、时间的连续性和任务多样性而具有不可替代的优势,因而卫星遥感成为获得全球中层大气状况的主要手段。成像光谱仪兼具成像仪获取目标景物影像信息的功能和光谱仪获取目标光谱信息的功能,能以高光谱分辨率获取目标的超多谱段图像,在工业、农业、气象和国防等领域得到越来越广泛的应用。临边探测是一种新兴的空间观测方式,具有空间、时间覆盖率高,垂直分辨率高的优点,受到人们的极大关注,临边成像光谱仪是以临边探测方式对大气痕量气体进行探测的成像光谱仪,它是成像光谱技术在大气痕量气体探测领域的新应用^[1-6]。

多波段紫外临边成像光谱仪是天宫二号目标飞行器上的重要有效载荷之一,对沿地球某高度切线方向上的大气进行测量,通过上下改变仪器的视轴高度,可获得整层大气的垂直结构。经过长时间的在轨飞行实验,获取了大量地球临边光谱数据,为实现对臭氧、二氧化氮、二氧化硫等大气成份垂直分布的连续监测,为地球大气环境探测和空间物理研究提供了新的信息源,同时为获得紫外临边背景辐射场,为目标识别与跟踪定位等应用提供基础^[7-10]。

通讯与数传系统作为多波段紫外临边成像光谱仪的重要组成部分,担负着指令通讯及光谱数据的采集、处理、下传的重要责任,本文详细介绍了通讯与数传系统的工作原理和各个功能模块的详细设计,经过长时间在轨飞行实验的结果表明,通讯与数传系统运行正常,安全可靠地实现了预

期设计的各项功能,各项性能测试结果满足多波段紫外临边成像光谱仪的技术指标要求。

2 系统构成和原理

多波段紫外临边成像光谱仪由总控箱、环形成像仪和前向光谱仪三部分组成,通讯与数传系统的工作原理如图 1 所示:系统工作过程中,电控箱的系统控制器通过 1553B 串行总线接收有效载荷数据处理单元(以下称 PDHU)的控制命令和参数,经过解析处理后,将相关的控制命令和参数通过 RS-422 串行总线发送给环形成像仪和前向光谱仪;环形成像仪和前向光谱仪根据控制命令和参数,采集和处理图像数据,并与图像辅助数据整合生成科学数据,通过 LVDS 链路发送给 PDHU。

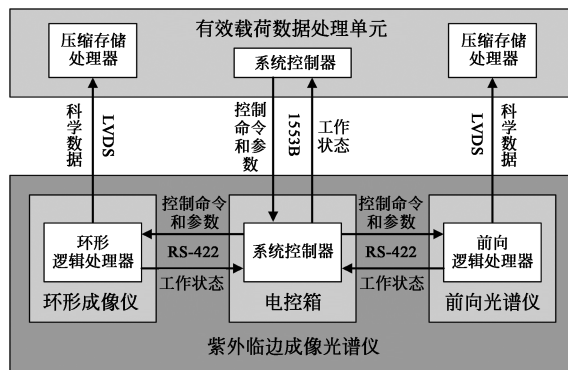


图 1 通讯与数传系统原理框图

Fig.1 Block diagram of communication and data transmission system

3 通讯与数传系统设计

3.1 1553B 串行总线指令接收和处理

总控箱与 PDHU 之间的信息传输通道,物理层采用美国 DDC 公司的 BU65170 系列 1553B 总线通讯协议芯片,总线接口采用变压器耦合方式,数据链路层及应用层通讯协议满足 1553B 标准,总控箱系统控制器通过 1553B 串行总线接收的消息

数据内容和子地址见表 1。总控箱系统控制器对数据注入进行正确性判断,经过解析和处理后得到测量、停测、积分时间和增益等控制命令和参数,平台参数和时间码采用周期广播的方式由 PDHU 方式给总控箱,周期为 512 ms。系统控制器采用 TI 公司的型号为 SMJ320VC5416 的 DSP。

表 1 接收消息内容

Tab.1 Receiving message content

序号	接收子地址	消息内容
1	SA1(R)	数据注入
2	SA2(R)	平台参数
3	SA3(R)	时间码

3.2 RS-422 串行总线指令接收和处理

采用 RS-422 串行通讯标准,传输波特率为 62 500 bps,数据位八位,起始位(数据为“0”)和停止位(数据为“1”)各一位,每个数据字节传输速率为 6 250 Hz,传输时间为 0.16 ms。

环形成像仪和前向光谱仪与电控箱之间通过 RS-422 串行总线接收测量、停测、返参、平台参数更新、温度和时间码更新等命令,接收积分时间、增益、平台参数、温度和时间码等参数,发送系统的工作状态,根据任务需求和时序约束,RS-422 串行通讯时序见图 2。环形成像仪和前向光谱仪的逻辑处理器均选用 Xilinx 公司的型号为 XQ2V3000-4BG728N 的 FPGA。

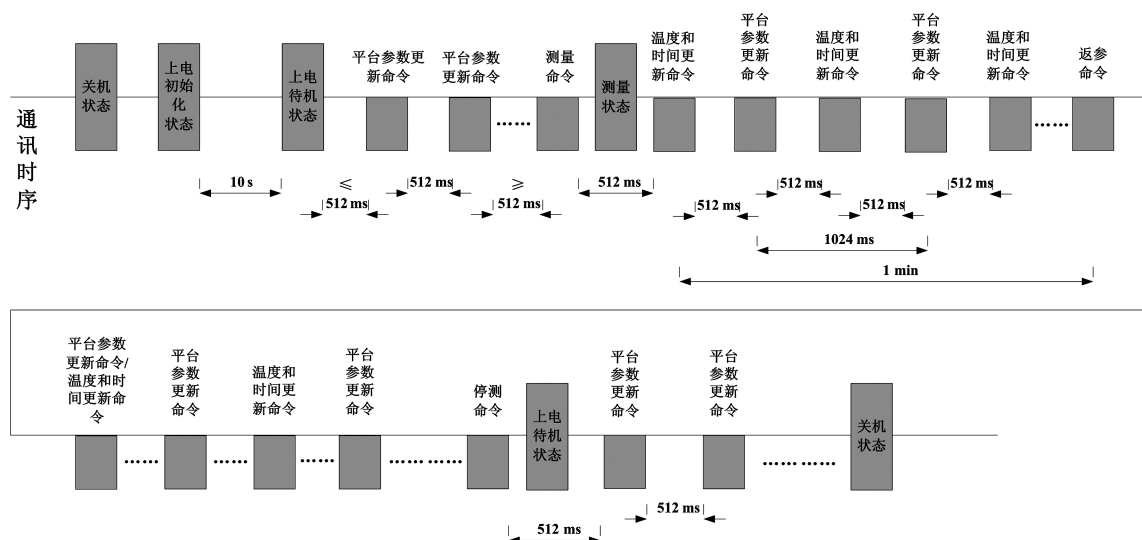


图 2 RS-422 串行通讯时序

Fig.2 RS-422 serial communication sequence

每一次通讯握手都是由电控箱首先发出带有命令字的一条消息,要求从电控箱发送的第一个字节开始,在规定的时间内,电控箱接收到反馈消息的最后一个字节,时序见图 3,时间 T 的计算公式为:

$$\begin{cases} T = T_1 + T_2 + T_3 \\ T_1 = N_1 \times 0.16 \\ T_2 = N_2 \times 0.16 \end{cases}, \quad (1)$$

式中: T_1 、 N_1 分别为电控箱发送消息的时间和字节数; T_2 、 N_2 分别为环形成像仪和前向光谱仪发送消息的时间和字节数; T_3 为发送消息和反馈消息之间的空闲时间,系统的时序设计要求 $T_3 \leq 5$ ms。

为了保证 RS-422 串行总线通讯的可靠性和连续性,提出一种基于通讯超时和数据错误的故障诊断与处理方法,具体内容如下:

电控箱发送消息的第一个字节开始,在规定的时间内,没有收到反馈消息,说明电控箱与环形成像仪或前向光谱仪的通讯链路出现故障,重新发送该条消息,如果仍然重复前一次的超时故障,忽略故障,准备下一次通讯。

电控箱接收消息的校验和错误,说明环形成像仪或前向光谱仪收到了电控箱发送的消息,但通讯链路出现故障,导致向电控箱返回的消息出错,忽略故障,准备下一次通讯。

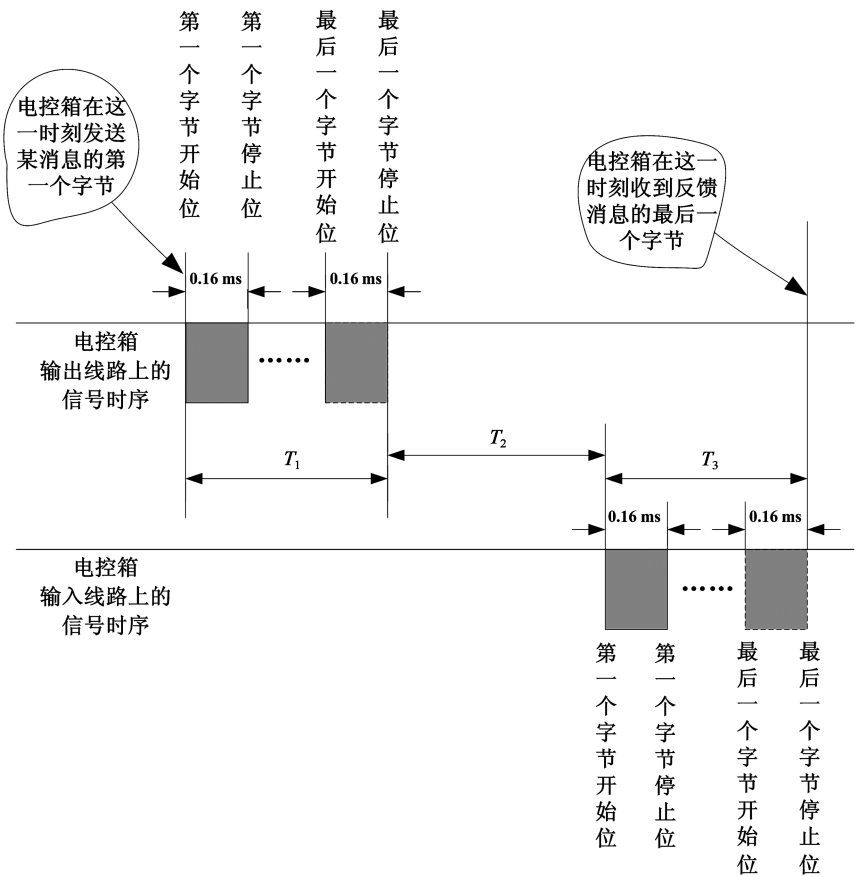


图 3 一次通讯时序
Fig.3 Once communication sequence

电控箱接收消息中,如果消息发送错误状态为有效,说明环形成像仪或前向光谱仪收到的消息出错,电控箱重新发送该条消息,如果仍然重复前一次的故障,忽略故障,准备下一次通讯。

环形成像仪或前向光谱仪接收消息过程中,接收到某一字节后 2 ms 内没有收到后续数据,说明环形成像仪或前向光谱仪与电控箱的通讯链路出现故障,忽略故障,准备下一次通讯。

环形成像仪或前向光谱仪接收消息的校验和错误,消息错误,环形成像仪或前向光谱仪向电控箱返回消息,并将消息发送错误状态置为有效,准备下一次通讯。

3.3 科学数据采集和处理

环形成像仪和前向光谱仪选用的探测器是英国 e2v 公司生产的帧转移 CCD57-10 BIAIMO,经过 CCD 驱动电路^[10]控制后输出的 14 位原始科学数据,连续拼接后以 16 位的宽度存入缓存,按

照图像打包格式要求形成完整的图像数据包。图像数据包以乒乓的方式交替存储在逻辑处理器片内的两个缓存中,每次打包新的图像数据之前,先对要使用的缓存进行一次复位操作,避免上一包残留的图像数据或时序错误影响到下一包图像数据。

前向光谱仪采用一片 CCD,环形成像仪采用三片 CCD,由于图像存储容量和下传速率的限制,前向光谱仪的图像不需要截取,环形成像仪的图像数据需要截取后部分下传。环形成像仪的图像数据截取原则:图像覆盖环形成像仪的拍摄目标,满足工程任务要求;图像截取后,满足存储容量和下传速率要求;截取的图像数据满足一定的规律,简化处理程序。截取下传的图像见图 4 中黑色部分,上下和左右相互对称,每行的数据量有较好的规律性,方便逻辑处理器和地面显示设备的程序处理。



图 4 环形成像仪图像数据

Fig.4 Imaging data of annularity spectrometer

每副图像数据对应一个图像辅助数据包,包括拍摄姿态和位置的平台参数、积分时间、增益、拍摄时间等信息,按照图像辅助数据打包格式要求形成完整的图像辅助数据包,与图像数据包组成应用数据包。

3.4 科学数据下传

科学数据通过 LVDS 链路由环形成像仪和前向光谱仪发送给 PDHU,环形成像仪的数传输出频率 80 MHz,前向光谱仪的数传输出频率 40 MHz,科学数据的组包格式见图 5。

帧头	应用数据包	CRC 校验和	帧尾
----	-------	---------	----

图 5 科学数据包格式

Fig.5 Format of science data packet

为了保证科学数据传输的可靠性,提出一种基于 8b/10b 的数据传输方法,具体内容如下:

为了保证应用数据包的可靠性,对数据进行 CRC 校验,CRC 校验和占用 4 个字节,初始值使用 0x00000000,码生成多项式采用 CRC-32 (IEEE802): $X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X^1 + 1$,对应二进制数为: 1-0000-0100-1100-0001-0001-1101-1011-0111。

科学数据在 LVDS 链路上传输过程中,根据帧头和帧尾识别科学数据包的开始和结束,帧头和帧尾从 8B/10B 编码关键字中选取。

为了保持 LVDS 链路上数据同步,在发送科学数据包的空闲间隔,LVDS 链路上应该连续发送同步字符,同步字符从 8B/10B 编码关键字中

选取。

为了保持 LVDS 链路上数据的直流平衡,避免高速串行流的逻辑 1 或逻辑 0 有多个位没有产生变化时,信号转换过程中造成信号错误,提高数据传输的可靠性,科学数据包和同步字符均采用 8b/10b 编码。

4 在轨实验验证

紫外临边成像光谱仪搭载于天宫二号,与 2016 年 9 月 15 日发射升空,经过长时间在轨飞行实验,获取了大量地球临边光谱数据。

2016 年 12 月 19 日至 12 月 25 日,前向光谱仪在轨进行的太阳掩日测量图像见图 6,环形成像仪在轨进行的地球临边观测图像见图 7。

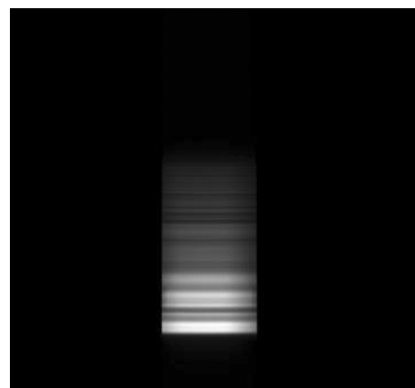


图 6 前向光谱仪图像

Fig.6 Image of forward spectrometer

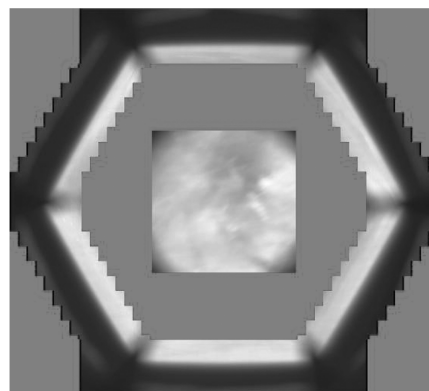


图 7 环形成像仪图像

Fig.7 Image of annularity spectrometer

通过对图像数据和图像辅助数据进行分析,图像与预期结果一致,通讯与数传系统工作正常,

完成了控制命令和参数发送和接收,通讯时序与设计一致,环形成像仪和前向光谱仪的科学数据采集、处理、传输频率、组包格式正确,提出的基于通讯超时和数据错误的故障诊断与处理方法和基于 8b/10b 的数据传输方法正确有效,RS-422 串行通讯过程中,字节间延时误差不大于 2 ms,接收消息与反馈消息的延时误差不大于 5 ms,有效提高了系统通讯的连续性、及时性和可靠性,通讯与数传系统各项性能测试结果满足技术指标要求。

5 结 论

根据紫外临边成像光谱仪的任务需求,设计并研制了紫外临边成像光谱仪通讯与数传系统,经过在轨长时间工作考核,通讯与数传系统高质量的实现了指令及数据通讯,完成了科学数据的采集、处理和下传,各项性能测试结果满足技术指标要求,为保证紫外临边成像光谱仪圆满完成科学观测任务起到了关键作用。

参 考 文 献:

- [1] 薛庆生.星载扫描层析临边成像光谱仪光学设计[J].光学学报,2015,35(4):0422001.
XUE Q S. Optical design of space-based scanning tomographic limb imaging spectrometer [J]. *Acta Optica Sinica*, 2015, 35(4): 0422001. (in Chinese)
- [2] 薛庆生,段民征.用于大气痕量气体探测的临边成像光谱仪[J].光学学报,2013,33(5):0522001.
XUE Q S, DUAN M Z. Development of limb imaging spectrometer for atmospheric trace gas sounding [J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(5): 0522001. (in Chinese)
- [3] 于磊,王淑荣,林冠宇,等.用于大气遥感的远紫外光栅色散成像光谱仪的研究[J].光谱学与光谱分析,2012,32(3):844-848.
YU L, WANG S R, LIN G Y, *et al.* Study on far ultraviolet imaging spectrometer with grating dispersion for atmosphere remote sensing [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2012, 32(3): 844-848. (in Chinese)
- [4] 薛庆生,王淑荣,李福田,等.用于大气遥感探测的临边成像光谱仪[J].光学精密工程,2010,18(4):823-830.
XUE Q S, WANG S R, LI F T, *et al.* Limb imaging spectrometer for atmospheric remote sensing [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(4): 823-830. (in Chinese)
- [5] 于磊,林冠宇,曲艺,等.115~180nm 远紫外临边成像光谱仪信噪比分析与验证[J].光谱学与光谱分析,2010,30(11):3156-3160.
YU L, LIN G Y, QU Y, *et al.* Analysis and experimental verification of SNR for a far ultraviolet imaging spectrograph in 115~180 nm [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(11): 3156-3160. (in Chinese)
- [6] 薛庆生,王淑荣,李福田,等.临边成像光谱仪信噪比分析及实验研究[J].光谱学与光谱分析,2010,30(6):1697-1701.
XUE Q S, WANG S R, LI F T, *et al.* Analysis and experimental validation of signal-to-noise for limb imaging spectrometer [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(6): 1697-1701. (in Chinese)
- [7] 代霜,王槐,于涛,等.紫外临边成像光谱仪时间同步系统的优化[J].红外与激光工程,2014,43(7):2270-2276.
DAI S, WANG H, YU T, *et al.* Optimization design of time synchronization system in ultraviolet limb imaging spectrometer [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(7): 2270-2276. (in Chinese)
- [8] 王永成.紫外成像光谱仪主动热控系统的设计与实现[J].宇航学报,2014,35(8):977-984.
WANG Y C. Design and implementation of active thermal control system for ultraviolet imaging spectrometer [J]. *Journal of Astronautics*, 2014, 35(8): 977-984. (in Chinese)
- [9] 张晶,王淑荣,黄煜,等.临边成像光谱仪的发展现状与进展[J].中国光学,2013,6(5):692-700.
ZHANG J, WANG S R, HUANG Y, *et al.* Status and development of limb imaging spectrometers [J]. *Chinese Optics*, 2013, 6(5): 692-700. (in Chinese)
- [10] 马庆军,宋克非,曲艺,等.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):1538-1545.
MA Q J, SONG K F, QU Y, *et al.* Design of CCD circuit systems for ultraviolet limb imaging spectrometers [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, 19(7): 1538-1545. (in Chinese)

作者简介:于涛(1980—),男,吉林长春人,硕士,副研究员,硕士生导师,2004 年于吉林大学获得学士学位,2006 年于吉林大学获得硕士学位,主要从事空间光学传感器嵌入式系统方面的研究。E-mail:yut@ciomp.ac.cn