0254-6124/2012/32(3)-455–06 *Chin. J. Space Sci.* 空间科学学报

Yu Qiang, Yu Chun, Zhai Guangjie, Zhou Binghong, Liu Weifeng. Electronic interface of a mini-type ultraviolet-visible spectrometer. *Chin. J. Space Sci.*, 2012, **32**(3): 455-460

微型紫外可见光谱仪及其电接口

于 强[1] 余 春[1,2] 翟光杰[1] 周炳红[1] 刘伟峰[3]

1(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100190)

2(中国科学院研究生院 北京 100149)

3(北京理工大学生命科学与技术学院 北京 100080)

摘 要 介绍了一种体积小 (180 mm × 120 mm × 100 mm)、重量轻 (2.0 kg)、功耗低 (10.8 W) 并适合于在空间应用的紫外可见光谱仪. 同时提出一种将紫外可见光谱仪连接到空间生物舱总控器上的接口方案. 利用该方案设计的接口电路, 成功地将紫外可见光谱仪中的光谱数据传送到空间生物舱的总控器上, 使得地面监控人员能够直观地看到紫外可见光谱仪的测量数据. 介绍了紫外可见光谱仪与空间生物舱中总控器接口的通信协议和接口结构, 通过 RS232 接口从光谱仪中获取光谱测量数据, 通过 CAN2.0 B 接口将光谱数据传送给空间生物舱的总控制器, 进而给出系统测试结果.

关键词 嵌入式系统, 微型光谱仪, RS232 接口, CAN 总线

中图法分类号 V 214

Electronic Interface of a Mini-type Ultraviolet-visible Spectrometer

YU Qiang[1] YU Chun[1,2] ZHAI Guangjie[1]

ZHOU Binghong[1] LIU Weifeng[3]

1(*Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100190)

2(*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100149)

3(*School of Life Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing* 100080)

Abstract A kind of Ultraviolet and Visible Light Optical Spectrum Instrument (UVLOSI) is introduced. This facility is characterized with light weight, small volume and low power consumption, which is suitable to be utilized in space. Meanwhile, an interface scheme for connecting the UVLOSI with space biologic capsule control system is presented. Following this scheme, an interface circuit is designed, and the data of the UVLOSI is successfully transferred to the center controller in space biologic capsule. Using this method, the measurement data of the UVLOSI in the system control panel can be directly observed. The interface communication protocol (RS232) between the UVLOSI and the interface circuit is presented. After that, the interface communication protocol (CAN2.0B)

2011-01-13 收到原稿, 2011-08-03 收到修定稿

E-mail: yuqiang@cssar.ac.cn

between space biologic capsule control system and the interface circuit is described. At last, measurement results of the UVLOSI are given.

Key words Embedded system, Mini-type spectral instrument, RS232 interface, CAN2.0B Bus

0 引言

空间生命科学研究对其相应的实验设备提出了很高的要求. 由于空间生命科学实验环境的特殊性, 要求实验设备具有体积小、功耗低、重量轻、可靠性高、自动化程度高等特点. 常规光谱仪在以上几个方面很难满足空间科学实验的要求. 而分析仪器的微型化, 也是其未来发展的趋势[1−2]. 本文介绍了一种体积小 (180 mm × 120 mm × 100 mm)、重量轻 (2.0 kg)、功耗低 (10.8 W) 并采用 CAN2.0[3] 口与系统交换信息的微型紫外可见光谱仪, 详细描述了该光谱仪与空间生物舱的接口, 为研制可用于中国未来空间站空间科学实验的紫外可见光谱仪奠定了技术基础.

1 微型光源

传统光谱仪的紫外–可见光源占用了系统绝大部分的能量, 并且其体积庞大, 还需要外加驱动电路和散热电路. 而光纤光源则在体积、重量和功耗方面有着传统光源无可比拟的优点. 该光源的技术指标列于表 1.

表 1 光源的技术指标

Table 1 Specifications of light source

规格	氘灯	卤钨灯
波长范围	200∼400 nm	400∼2500 nm
稳定性	< 1 mAU	< 1 mAU
灯泡寿命	1000 h	2000 h
体积	170 mm×100 mm×40 mm	
重量	750 g	
功率	5.4 W	

2 微型光谱仪

光谱仪由光纤接头、准直镜、聚焦镜、衍射光栅、CCD、采样电路和接口电路构成. 其采用对称式 Czerny-Turner 光路设计, 使用 2048 个像素的 CCD 探测器阵列. 光栅的线对数为 600 线/mm, 狭缝宽度为 100 μm, 分辨率为 2.1 nm, 可用波长范围为 200∼1100 nm[4].

光谱仪的杂散光小于 0.1%, 信噪比为 200:1, 灵敏度为 20000 记数/μW. A/D 转换为 16 位. 光谱仪重量为 650 g, 体积 170 mm×100 mm×40 mm, 功率 4.2 W. 其数据接口为 RS232 口.

3 光谱信号的处理

由光学系统分光后的光谱照射到线阵 CCD 上, 在电路控制下完成光电信号转换. 本系统选用 Xilinx 公司 Spartan3 FPGA 系列产品中的 XC3S500E 芯片作为核心, 驱动 TCD1209D 线阵 CCD, CCD 输出的模似信号经过双关采样电路, 通过 AD9824 转化为数字信号, 由 FPGA 存储于 SRAM 中, 并通过串口接口芯片传入带 CAN 接口的 ARM 控制器, 进行数据的运算、打包、处理, 最终送入空间生物舱的总控制台, 将光谱曲线呈现给用户.

4 数据接口

由于光谱仪的数据接口为 RS232 口, 而空间生物舱的数据传送接口为 CAN2.0 口, 因此, 需要在光谱仪和空间生物舱之间进行数据转换. 另外, 考虑到未来空间站上宇航员将会参与进行科学实验, 在光谱仪上设计安装了彩色 LCD 液晶显示器和简单的操作键盘.

4.1 硬件接口

接口电路的工作原理如图 1 所示. 其核心是一片 ARM7 CPU[5−7], 它通过 RS232 串口从光谱仪中获取光谱测量数据, 并且向光谱仪发送控制命令, 这些命令包括打开光源、光源切换、开始测量等.

CPU 同时控制 LCD 显示出光谱仪测量的光谱数据曲线, 并给出某一频率上的吸光度值. 通过面板键盘可控制光谱仪复位、打开光源、切换光源.

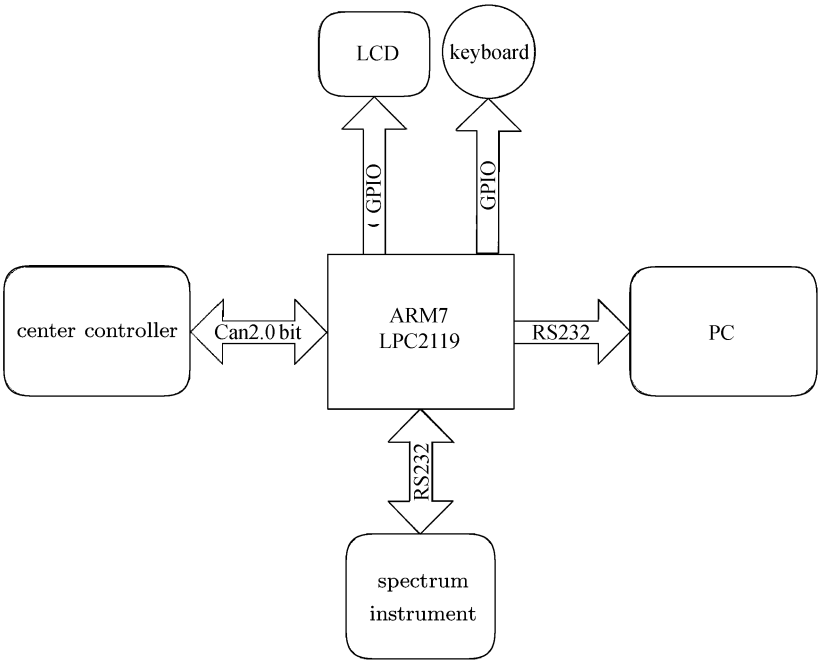

图 1　系统组成原理

Fig. 1　Scheme of System

CPU 控制 CAN2.0 接口与空间生物舱的总控制器进行数据交换, 接收总控制器发布的命令, 并将采集到的光谱仪测量数据传送到总控制器中. 同时, 它还能够满足空间生物舱要求的 1 Mbit/s 的通信速率.

CPU 还控制另外一个 RS232 串口, 利用该串口与计算机进行通信, 主要用于系统的调制和测试.

4.2　通信协议

通过协议转换电路, 可以把光谱仪中的光谱数据先读到协议转换器中, 将其存储在协议转换器的内部存储器里, 对这些数据进行处理. 再根据空间生物舱的通信协议, 将这些数据传送到空间生物舱的总线上, 由空间生物舱的总控制器接收, 并对数据做进一步处理, 将处理后的结果呈现给用户.

4.2.1　光谱仪的通信协议

对光谱仪的操作有 4 条命令, 分别为①初始化光谱仪, ②得到光谱仪当前配置信息, ③采集光谱仪中的数据, ④设定光源开关. 通信协议的数据格式列于表 2.

每条命令都以 DLE STX 开始, 以 ETX DLE 结束, 若收到连续两个 DLE 在一起, 处理为一个 DLE 数据, 若发送时遇到 DLE, 制作成两个 DLE 来发送 (其中 DLE 为 0X10, STX 为 0X02, ETX 为 0X03). 命令的数据格式列于表 3.

4.2.2　空间生物舱的通信协议

光谱仪与空间生物舱之间通信协议 [8] 的物理要求如下.

(1) 本系统中各模块间的通信方式统一采用 CAN 总线.

表 2　RS232 接口通信协议的数据格式

Table 2　Format of RS232 protocol

DLE	STX	DATA (Command)	ETX	DLE

表 3　RS232 接口命令的数据格式

Table 3　Format of RS232 command

命令类型	数据或命令
初始化光谱仪	DLE, STX, 0X20, 0X00, 0X01, 0X00, 0X02, 0X00, 0X13, 0X00, DLE, ETX
得到当前配置信息	DLE, STX, 0X20, 0X00, 0X01, 0X00, 0X02, 0X00, 0X01, 0X00, DLE, ETX
开始采集光谱	DLE, STX, 0X20, 0X00, 0X01, 0X00, 0X04, 0X00, 0X06, 0X00, 0X00, 0X01, DLE, ETX
设定光源开关	DLE, STX, 0X20, 0X00, 0X01, 0X00, 0X04, 0X00, 0X0B, 0X00, 0X03, 0X00, DLE, ETX

(2) CAN 接口需支持 CAN2.0B 协议, 符合高速 ISO11898 规范.

(3) 通信速率: 1 Mbit/s.

(4) CAN 总线接口提供 CAN_H, CAN_L, CAN_SHLD.

(5) 提供两组 CAN 总线接口, 一组为主口, 另一组为备口.

(6) 内部不提供 120 Ω 的终端电阻.

与空间生物舱的通信协议采用 29 位标识符的扩展帧格式, 通信帧格式采用 "ID+ 数据" 的形式, 其中 ID28~ID25 (共 4 位) 是报文类型标识符, ID24 为是否为应答包 (1 为应答包), ID23~ID16 (共 8 位) 为发送节点标识, ID15~ID8 为接收节点标识, ID7~ID0 (共 8 位) 保留未用 (全 0). 数据表示信息的具体内容, 长度为 0~8 个字节. 校验采用 CAN 总线本身提供的 15 位 CRC 校验, 根据最后情况再决定是否增加校验方法.

与空间生物舱之间共有 5 条命令, 分别为①开/关机, ②自检, ③光谱分析启动/停止, ④传送测量和分析数据, ⑤进样. 命令的数据格式列于表 4.

表 4 CAN20.B 口的数据格式

Table 4 Format of CAN20.B interface

编号	报文 功能	命令 ID 应答 ID	数据
1	控制命令	0X06013101 (控制命令报文)	数据长度: 1 字节 数据内容: 0X01 开机 0X80 关机
	开关机	0X07310101 (控制命令报文)	数据长度: 1 字节 开机数据 关机数据
2	控制命令	0X06013102	无
	自检	0X07300102	同开机应答报文
3	控制命令	0X0601300D	0X01: 开始分析 0X80: 停止分析
	分析启动/停止	0X0730010D	数据长度: 1 字节
4	分析数据	无	
	分析数据	0X0C300101	数据长度: 1~8
5	控制命令	0X0601310B	无
	分析进样	0X0730010B	0X01: 接受 0X80 + 原因码: 拒绝

4.3 系统工作流程

系统工作流程如图 2 所示. 接口电路加电之后, 首先对外部设备进行初始化, 然后等待空间生物舱总控制器发出的数据采集命令.

系统初始化了两个控制按键的外部中断, 两个定时器中断, 一个定时器用于发送数据包和进行 AD 采样, 另一个定时器用于定时发送光谱仪的采样命令, 串口 0 用于 16 字节 RDA 和 CTI[9] 中断式接收光谱仪的批量数据. CAN 中断用于接收总控制器 PC 机上用户操作命令的注入.

5 实验结果

利用该光谱仪分别对不同浓度的 BSA 试剂进行光谱测量, 选用了 6 种浓度的试剂, 其浓度分别为 1×10^{-7}, 1×10^{-6}, 5×10^{-6}, 1×10^{-5}, 5×10^{-5}, $1\times10^{-4}\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$. 表 5 和图 3 给出了相应测量结果.

根据朗伯–比耳定律 [10]:

$$\lg\frac{I_0}{I_\mathrm{t}}=kCl.$$

式中, I_0 为入射光强度, I_t 为透射光强度; k 为比例常数, 与入射光波长和物质吸收性质有关; C 为均质物质的浓度; l 为光程长度. 设 $A=\lg\frac{I_0}{I_\mathrm{t}}$, 这里 A 称为吸光度, 在比例常数 k 和光程 l 不变的情况下, 吸光度与溶液浓度成正比.

利用最小二乘法对表 5 中数据进行简单的线性化处理, 得到波长为 250 nm 处的吸光度与浓度的关系为

$$C=0.000058A-0.000002,$$

表 5 试剂浓度与吸光度的关系

Table 5 Relation between concentration and absorbency

浓度/ $(\mathrm{mol\cdot L^{-1}})$	吸收谱 250 nm	吸收谱 280 nm
1×10^{-7}	0.00158	0.00202
1×10^{-6}	0.0485	0.0658
5×10^{-6}	0.1342	0.2274
1×10^{-5}	0.2275	0.4163
1×10^{-4}	1.7425	2.5381

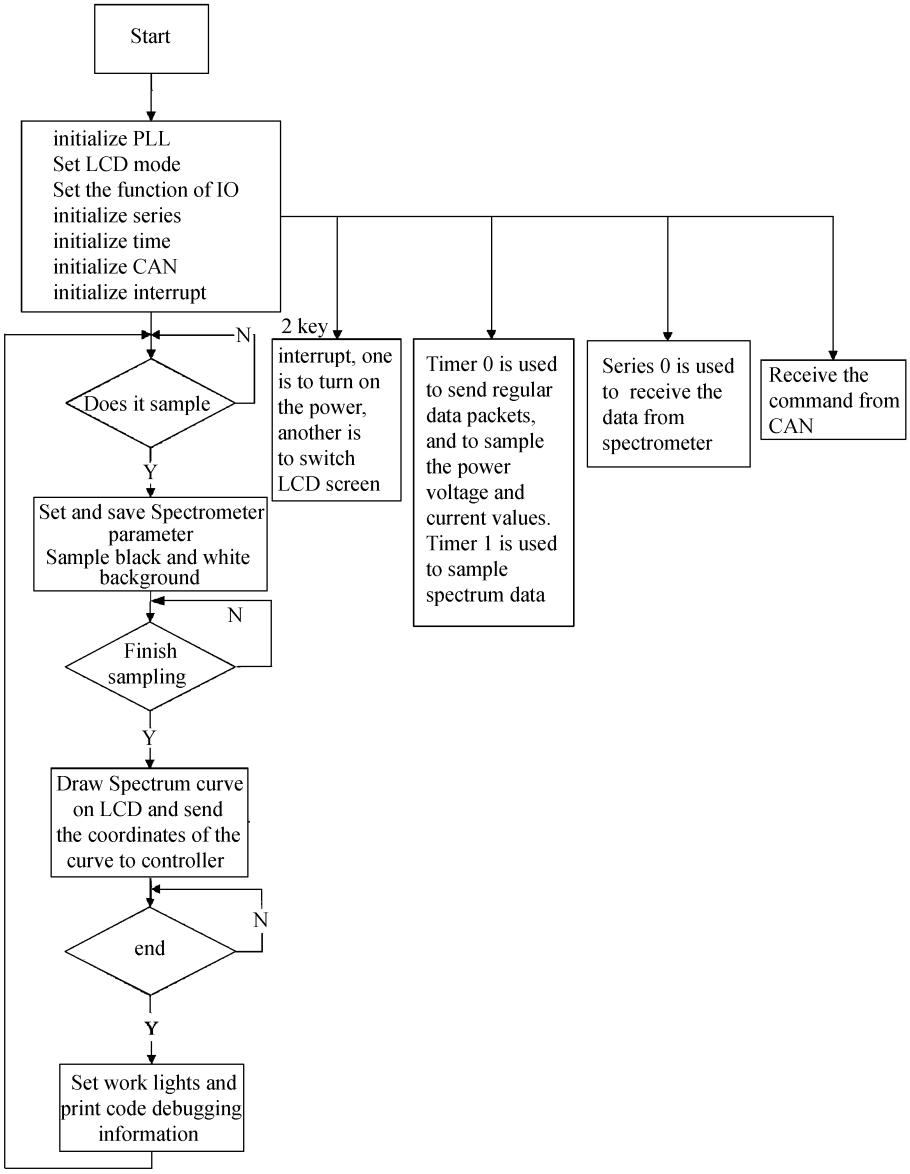

图 2　系统工作流程

Fig. 2　Flow chart of operation

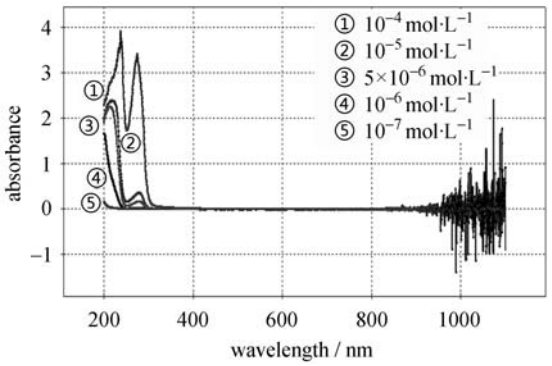

图 3　不同浓度下吸光度曲线

Fig. 3　Absorbancy in different concentration

波长为 280 nm 处的吸光度与浓度的关系为

$$C = 0.000040 - 0.000003.$$

由上面的分析可知, 吸光度与溶液浓度之间具有线性关系, 符合朗伯–比耳定律.

在空间生物舱系统总控制台获得的光谱数据如图 4 所示.

从测试数据来看, 存在数据饱和的情况. 根据朗伯–比耳定律可知, 吸光度是将入射光强度除以透射光强度, 然后再取以 10 为底的对数, 所以当吸光度为 2 时, 只有 1/100 的透光率, 若出现的曲线峰值到

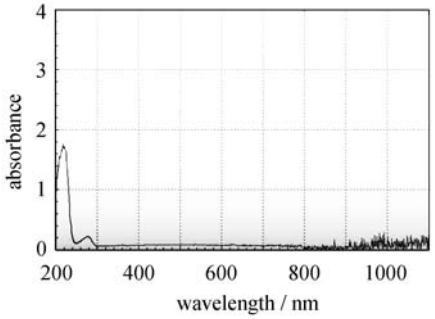

图 4 总控制台显示的 $1 \times 10^{-5}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ BSA 试剂测量结果

Fig. 4 Result of control panel display

达了 3~4, 则表明其通光率仅有 1/1000~1/10000, 这将会导致无效的测量结果.

6 结语

采用 ARM7 CPU 为核心构成的接口电路, 能够从 RS232 串口获得光谱仪中的光谱测量数据, 并通过 CAN2.0 接口将光谱数据传送到空间生物舱的总控制器, 实现光谱仪与空间生物舱总控制器之间的数据交换.

该方案简单可行, 并已在实际系统中获得成功, 为在中国未来空间站的空间生物舱中利用紫外可见光谱仪进行生物样品浓度的实时在线测量奠定了技术基础.

参考文献

[1] Li Changhou. The recent development of atomic absorption spectrophotometer and its application [J]. *Life Sci. Inst.*, 2006, **4**(8):3-8. In Chinese (李昌厚. 原子吸收分光光度计仪器及其应用的最新进展 [J]. 生命科学仪器, 2006, **4**(8):3-8)

[2] Fan Shifu. The recent development of spectral technology and instrumentation [J]. *Modern Inst.*, 2007, **13**(2):1-5. In Chinese (范世福. 光谱技术和光谱仪器的近期发展 [J]. 现代仪器, 2007, **13**(2):1-5)

[3] Tao Qiuhong, Zhang Weilong. The technology and development of CAN bus [J]. *Mall Modern.*, 2007, **9**:10-13. In Chinese (陶秋红, 张伟龙. CAN 总线技术及发展 [J]. 商场现代化, 2007, **9**:10-13)

[4] Zeng Yanan, Liang Yinzhong. Research and application of CCD in spectrum analysis system [J]. *Mintong Tech.*, 1998, **11**:34-35. In Chinese (曾延安, 梁荫中. CCD 在光谱分析系统中的应用研究 [J]. 敏通科技, 1998, **11**:34-35)

[5] Zhou Ligong. ARM Embedded System Software Development Example [M]. Beijing: Beihang University Press, 2005. In Chinese (周立功. ARM 嵌入式系统软件开发实例 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005)

[6] Zhou Ligong. ARM Embedded System Software Basic Tutorial [M]. Beijing: Beihang University Press, 2004. In Chinese (周立功. ARM 嵌入式系统软件基础教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004)

[7] Gao Hongyu. Design of intelligent node based on ARM CAN bus [J]. Electronic technology application, 2005, (4):24-26. In Chinese (高红玉. 基于 ARM 的 CAN 总线智能节点的设计 [J]. 电子技术应用, 2005 (4):24-26)

[8] Farsi M, Ratcliff K, *et al.* Overview of control area network [J]. *Comp. Cont. Eng. J.*, 1999, **10**(3):113-120

[9] Du Chunlei. ARM System Structure and Program [M]. Beijing: Tsinghua Humanistic Press, 2003. In Chinese (杜春雷. ARM 体系结构与编程 [M]. 北京: 清华人学出版社, 2003)

[10] Williams P, Norris K. Near-infrared Technology in the Agricultural and Food Industries [M]. Minnesota: American Association of cereal chemists, USA. 1987

Analysis of Probability of the Upset Events on Fengyun-2C ..... *YAN Xiaojuan XUE Bingsen* (430)

Research on XNAV Algorithm With Correction of Pulsars Position Error ..... *DENG Xinping ZHENG Jianhua GAO Dong* (435)

Image Quality assessment for Chang'E-1 IIM 2C Data ..... *LIU Bin LING Zongcheng LIU Jianzhong ZHANG Guangliang* (440)

Analysis of the System Linearity Caused by Gain Variation of Satellite-borne Microwave Radiometer ..... *HE Jieying ZHANG Shengwei ZHAO Jin ZHANG Yu* (449)

Electronic Interface of a Mini-type Ultraviolet-visible Spectrometer ..... *YU Qiang YU Chun ZHAI Guangjie ZHOU Binghong LIU Weifeng* (455)