

卫星激光测距的电控系统设计与实现

姜岩^{1,2}, 孟文东¹, 张忠萍¹, 陈菊平¹

(1. 中国科学院上海天文台, 上海 200030; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 给出的卫星激光测距的二轴系统实现了通过软件控制望远镜 coude 光路调整、接收系统 SPAD 和 APD 的自动切换、视场光阑大小的自动调节、以及发射光束指向的精确控制。该系统是基于 MPC07 运动控制卡, 通过人机交互界面进行实时控制, 旨在实现不同功能的调节, 提高卫星激光测距的自动化程度。详细介绍了该系统的硬件组成、技术指标及软件工作方式。

关键词: 激光测距; MPC07SP 运动控制卡; 二轴控制; Visual basic; coude 光路

中图分类号: P228.5, TP319

1 引言

随着激光测距技术的发展, 激光测距在国防和科学研究中发挥的作用越来越重要, 测距系统多任务、多功能和自动化的要求也越来越高。卫星激光测距二轴控制系统包括发射镜控制、接收视场控制、激光回波探测装置 SAPD(single photon avalanche diode) 接收器和 APD(Avalanche Photo Diode) 接收器的自动切换、以及 coude 光路的自动调整 4 部分。本文中设计实现的运动控制系统主要通过控制这 4 部分来进行激光测距系统多任务的切换和实时调整, 从而提高测距系统的自动化程度。

该系统主要实现的功能包括以下 4 项:

1. 发射光束指向的精确控制。卫星激光测距中, 激光束的指向精确与否与回波光子数的多少密切相关, 对成功测距起着重要的作用, 尤其是当激光束较窄, 不易精确对准目标时, 必须要对光轴的高度和方位进行实时修正。本文中用大能量激光器对合作目标进行跟踪和测距, 当回波率较大时, 通过实时光尖点修正技术确定修正量, 将该值作为对光束指向进行调整的参考值, 进行偏差量的微调。

2. 视场光阑大小调节。在白天测距时, 有效回波光子信号容易被背景噪声信号覆盖而无法准确识别。接收光学系统中利用视场光阑进行空间滤波, 即通过调整回光小孔的半径以减少 SPAD 的入光量, 剔除背景噪声, 以便有效识别出回波信号。

3. SPAD 和 APD 之间的光路切换。相对于白天测距, 在空间碎片测距时, 由于回波较弱要使用自身噪声较小的 APD 探测器, 因此测距任务不同时要进行不同探测器的切换。

4. coude 光路的自动调整。由于温度、机械等原因, 或激光能量的调整, 都会造成激光器发射出的激光束的抖动, 因此要调整 coude 光路的垂足点, 使其始终位于标准点上。

发射光路调整包括 coude 光路垂足点的精确控制和发射光束指向的精确控制 2 个部分, coude 光路的水平和垂直方向分别通过四维光学调整架的 2 个电机驱动, 均采用两相六

线的步进电机,因此运动状态的显示和控制主要通过监控2个步进电机的方向速度等状态信息实现的。通过调整驱动细分数,严格控制电机的步进角大小,使其满足光路调整的精度。由于coude光路垂足点控制和发射光束调整原理相同,因此在试验中只需要设计一路二轴控制的运动系统,通过扩展切换电路可分别调整这2部分光路。在切换的过程中,要保证电机转速平稳,避免由于惯性作用导致的光轴跳动。

传统运动控制系统经常采用单片机或微机进行步进电机控制,这种方法存在外围电路复杂、处理速度慢及实时响应低等缺点。为了达到高精度定位和平稳运行的要求,本设计中采用MPC07控制卡作为运动控制系统的开发平台,使得系统线路简单、安装调试方便、可靠性也大大增强。实验结果证明,该系统运用在控制望远镜运动过程中,可将光束的运动步长限制在 $0.4''$ 以内,并且可以同时通过人机交互界面对每个轴的运动速度和距离进行实时监测和调整^[1]。

2 二轴控制系统的实现

2.1 系统工作原理

此控制系统主要分为发射管路和接收光路2个部分,下面分别从这2个方面介绍系统的工作原理。

2.1.1 发射光束二轴控制原理

Coude光路和发射光束的精确调整原理相同,系统共用一路控制电路。我们以发射光束指向精确控制为例,介绍二轴控制的基本原理。

卫星激光测距的发射光束二轴控制系统的工作原理如图1所示。激光束的精确指向通过CCD图像监视与调整。首先利用watec-CCD进行图像采集,探测点需始终在SPAD灵敏区中心,如此可保证最大的回波探测率。在CCD图像上,灵敏区中心有一个较固定的坐标点,因此,控制激光束精确指向时,只需始终保证激光光尖点跟踪至该坐标中心点即可。由于采用大能量激光器,光束在CCD上具有非常明显且较稳定的图像,在保证闭环跟踪稳定且有明显回波数的情况下,可以线性拟合出初始光尖点的位置,该位置一般会比较固定。在图像上得到激光束的光尖点与灵敏区中心的像素偏差以后,求取出实际光尖点的方位角和高度角偏差量,实时发送到两轴运动控制子程序,进行激光束精确指向的修正控制。

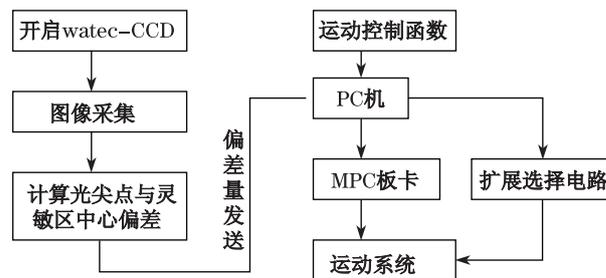


图1 二轴控制工作原理图

2.1.2 接受探测器切换及光阑孔的自动调整

卫星激光测距的接收光路系统图如图 2 所示。反射光经过半透镜 C，一部分射向 45° 反射镜，该反射镜使光线进入夜晚观测用 watec-CCD，另一部分射向位于焦点处的光阑。从光阑孔射出的激光束经过同样的半透镜 D，一小部分被反射入白天观测用 PCO，另一部分透过半透镜 D，若反射镜位于 B 处，经物镜入射到探测器 APD 的光敏面上，若反射镜位于 A 处，则直接射到探测器 SPAD。反射镜从 A 处至 B 直线平移 20 mm，移开或放置时电机对应于不同的位移，通过监测电机状态可得到其当前位置，从而判断前进还是后退，同时将相应的运动方向和距离通过串口发送到 PC 机。光阑孔大小分为不同档，最大半径为 8 mm，最小为 0.5 mm。当运动到最大或最小半径时电机给出限位信号，强制停止运动。计算最大和最小两点之间的步数，平均后可得到在不同孔径之间需要运动的距离。工作时首先检测小孔当前大小，根据目标大小自动判断电机运动方向和位移，将数据发送给 PC 机。PC 机接收到数据后，将数值转换为步进电机运动的步数，然后将参数发送给 MPC07 板卡，产生具有一定时序和频率的脉冲来控制电机转动的方向和速度。

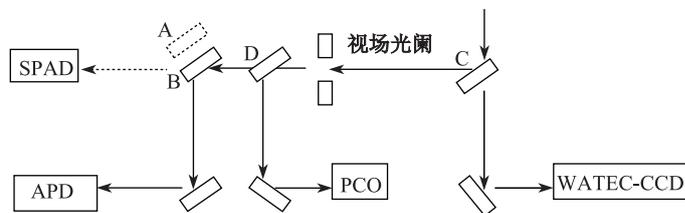


图 2 接收光路图

2.2 硬件部分实现

2.2.1 MPC07 板卡

MPC07 控制卡作为开发运动控制系统的平台，其结构是开放式的。该卡插在 PC 机 PCI 扩展槽内使用，同时控制卡的数量和各卡上的控制轴数可方便地配置。MPC07 卡采用基于 FPGA 设计的芯片，具有梯形升降速曲线，最高输出频率可达 1 MHz，无编码器反馈端口，主要适用于步进电机控制系统，也可用于无编码器反馈的数字式交流伺服系统^[2]。MPC07 控制卡的结构示意图如图 3 所示。

MPC07 控制卡的运动控制功能主要取决于运动函数库^[3]。运动函数库为单轴及多轴的步进或伺服控制提供了许多运动函数，如：单轴运动、多轴独立运动、多轴插补运动等。另外，为了配合运动控制系统的开发，该卡还提供了间隙补偿功能。在本文中介绍的控制系统主要使用了多轴独立的点位运动。

2.2.2 系统硬件电路结构

整个运动控制系统的硬件电路结构如图 4 所示。

该设计实验的系统用于控制望远镜 coude 光路自动调整、接收系统 SPAD 和 APD 的自动切换、视场光阑大小调节、以及发射光束指向的精确控制。coude 光路和发射光束指向都需要两轴控制，因此理论上一共要输出 6 路步进电机的运动控制信号。但是由于一块 MPC07 板卡只能输出 4 路信号，因此 coude 光路和发射光束只能共用 1 路两轴控制，而且

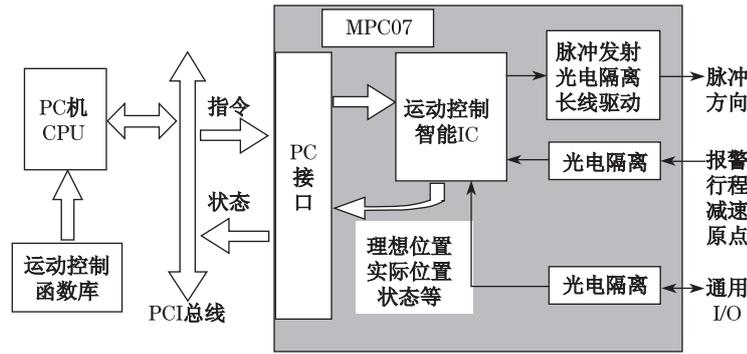


图3 MPC07控制卡结构示意图

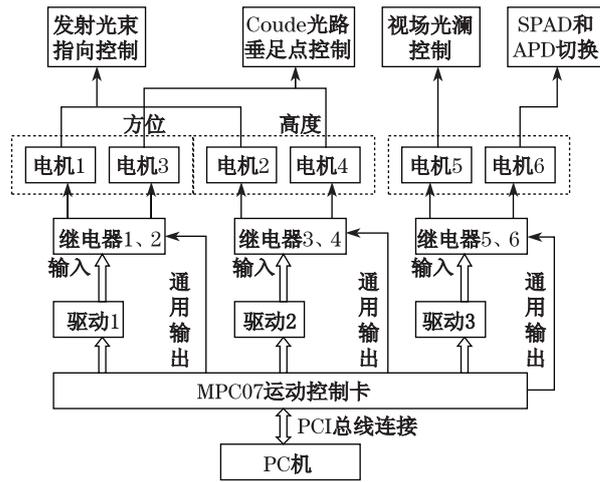


图4 二轴控制系统的硬件电路结构

通过扩展电路进行选择。MPC07板卡提供了8个开关量通用输出，将其接到继电器的控制端，通过软件改变通用输出的值就可以将板卡输出的一路信号分别送到不同的步进电机。同样的方法，光阑大小控制和探测器切换共用一个轴，它们的运动方式均为点位运动，即运动距离为固定的，使用MPC07可以很好地实现这一运动。

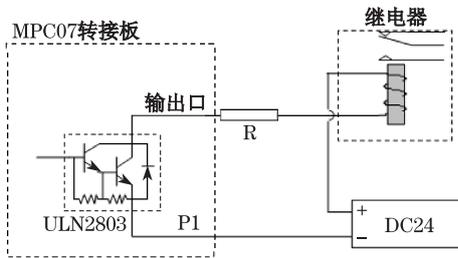


图5 继电器接口电路

图5为扩展选择电路中MPC07卡与继电器的接口电路。脉冲和方向信号通过驱动器接到继电器的输入端，扩展电路通过继电器的吸合和断开选择将信号输出到对应的步进电机。办卡的开关量通用输出回路为集电极开路输出，单路最大输出电流500mA，电压24V，如图所示，为满足此大电流高电压要求，其通过达林顿管接到继电器的控制输入端。当通用输出为高电平时，继电器吸合，将驱动器的输出送到控制coude光路调整的步进电机；当通用输出为低电平时，继电器断

开，将驱动器的输出送到控制镜架运动的步进电机。这样就实现了选择电路的扩展。

在数字电路中，大部分采用的是 TTL 电平，TTL 电平产生的脉冲不足以使步进电机转动，因此必须有专门的驱动电源。本系统中使用的驱动电路采用双极性恒流斩波的驱动方式^[4]，该驱动方式是一种在导通、锁定、低频、高频工作状态时保持绕组电流恒定的有效方式。绕组电流从低速到高速的运行范围内都保持恒定，弥补了高低压驱动电路绕组电流波形有凹点的缺陷，各相斩波频率相同，提高了转矩，有效地抑制了因各相斩波频率不同而产生的噪声。可人工设定本系统驱动电路中驱动电流和细分分数。驱动电流最大峰值为 2 A，细分分数最高可达 128 级^[5]。

2.3 软件的实现

PC 机负责人机交互界面的管理和控制系统的实时监控等方面的工作，例如键盘和鼠标的管理、系统状态的显示、控制指令的发送、外部信号的监控等，该控制系统的处理软件是利用 Visual Basic 对 MPC07 运动控制函数库进行二次开发，编写出实时显示控制程序。通过键盘或鼠标发送控制信号，进行控制电路的切换选择，并将运动控制函数指令传给 MPC07 板卡，MPC07 卡完成运动控制的所需功能，包括脉冲和方向信号的输出、自动升降速的处理、原点复位和限位等信号的检测等。

利用 VB 编写的多轴电机运控界面如图 6 所示。



图 6 运控系统控制界面

控制程序主要由初始化自检程序、人机界面交互程序和望远镜运动状态控制程序组成。自检程序主要包括计算机和板卡的硬件检测，如果硬件设置错误，软件在运行时发生错误，则调用失败，需重新设置。人机交互界面主要包括运动轴号、运动方式的选择、参数的编辑与保存。运动状态控制程序主要包括望远镜部件的运动参数显示以及复位等功能的实现。

打开程序后,首先进行程序初始化,设置运动参数以及板卡参数。运动参数包括轴号(上下左右4个方向对应不同的轴号)、速度、点位运动和连续运动2种模式的选择。当选择点位运动时参数还包括运动距离。板卡参数包括板卡数和轴数等。其次调整通道选择,即改变板卡的通用输出口状态,进而改变继电器状态,将驱动器输出的放大后的脉冲和方向信号输入到相应的步进电机。因为上下运动和左右运动是不同的运动轴控制的,所以相互独立,即在上下运动时可同时左右运动。光阑孔大小控制和探测器切换在同一时刻只能进行一项,在运动前要先点击“开始位置”进行初始化,以判断当前光阑孔大小或当前使用探测器。在重新设置参数前要停止当前运动,当电机由一个方向转向反方向运动时也必需先停止当前运动再继续运动。运动过程中可实时读取并显示当前的速度、相对于板卡原点的运动距离、及相对本次运动起点的距离。“复位”功能可回到本次运动的初始位置。

3 小结

本文详细阐述了望远镜跟踪运动的二轴控制电路的技术实现,包括硬件和软件,以及关键技术的实现原理。该系统采用基于PCI总线的MPC07控制卡作为运动控制系统的开发平台,能够配合激光测距的软件实现对卫星的精确定位和跟踪。应用结果表明,在coude光路调整和发射光束控制时,可实现光路的快速调整。当细分数设置为32时,光束的运动步长可精确到 $0.4''$ ^[6]。同时,在白天测距时,利用该控制系统可以准确地定位移动反射镜,实现探测器之间的切换光阑的调整。总之,此系统操作简单,易于实现,控制精度较高,可满足相关的要求。

参考文献:

- [1] 庄渊昭. 电子世界, 2010: 43
- [2] 杨继东, 韩飞. 电气技术与自动化, 2010, 39(2): 161
- [3] 上海乐创自动化有限公司. MPC07SP 运动控制卡操作手册
- [4] 施广宏, 石成英, 韩华锋等. 中国新通信, 2010: 73
- [5] 赵轶彦, 何小刚. 科技情报开发与经济, 2007, 17(35): 185
- [6] 张航鲜. 硕士论文. 西安: 西安电子科技大学, 2007: 1

Design and Implementation for Electrical Control System of Satellite Laser Ranging

JIANG Yan^{1,2}, MENG Wen-dong^{1,2}, ZHANG Zhong-ping^{1,2}, CHEN Ju-ping¹

(1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: This paper gives a way of SLR control system, which can adjust the optical path automatically, switch the receiving system between SPAD and APD, regulate the field aperture and control the optical emission precisely. The system is based on MPC07 movement control cards and could achieve different functions in the regulation of SLR and improve the degree of automation by real-time control through man-machine interface. This paper introduces the hardware composition, technical indicators and the work-mode of software.

Key words: laser ranging; MPC07SP control CARDS; two axis control; Visual basic; coude optical path