

文章编号: 0253-2239(2010)s100205

准直扩束系统的自动控制设计与实现

薛 鑫 陈名松 罗 娜 王 方

(桂林电子科技大学信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

摘要 为使无线光通信中准直扩束光学系统控制简单、容易实现,针对体积惯量较小的光学元件,提出一种闭环光路模式下的准直扩束光学系统自动控制装置设计方案。借鉴反馈控制技术,由脉冲激光控制信号实现光路的闭环反馈。并结合单片机和光电检测技术,给出其硬件和软件设计方案。该装置包括单片机控制、步进电机组、光电检测和反馈收发系统等,通过控制协议和各软件功能模块的调用,实现无线光通信中准直扩束系统的自动控制。实验表明,该装置较好地达到激光准直扩束镜头连续变焦的自控功效,具有运行平稳和控制可靠的优点,对研究无线光通信的光路对准具有较高的实际参考价值。

关键词 光通信;准直扩束;反馈自动控制;光学系统;单片机

中图分类号 TN29 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201030.s100205

Design and Realization of an Autocontrol System for Collimating and Beam Expanding

Xue Xin Chen Mingsong Luo Na Wang Fang

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004 China)

Abstract To make the optical systems simply controlled and easily realized in wireless optical communications, the design scheme of an automatic control device is put forward based on the optical closed-loop mode in which the volume and the inertia of the optical systems of collimating and beam expanding are small. Using the feedback control technology for reference, a light path of close-loop feedback is done with the pulse laser as control signal. The system is achieved by the micro controller unit (MCU) and the photoelectric detectors. Meanwhile, the hardware configuration and the software design scheme of the autocontrol device are presented, the former includes the MCU control system, stepping motor set, photoelectric detection system and feedback system, and the latter contains the control protocol and programmed function modules. Furthermore, the experimental results show that the automatic control device has the advantages of smooth operation and reliable automatic control. Thus, this study has practical value on the research of the light path collimating in wireless optical communications.

Key words optical communications; collimating and beam expanding; feedback control; optical system; micro controller unit

OCIS codes 010.1080; 010.3310; 040.5350

1 引 言

无线光通信又称为自由空间光通信(FSO),是光纤通信和无线通信相结合的产物,具有频带宽、安装快速等诸多优点^[1],日益成为空间通信业发展的

必然趋势^[2]。然而在一些要求较高的应用中,激光器输出光束存在着发散角较大、垂直结平面与平行结平面光斑尺寸不对称、光强分布不均匀等问题,需要通过特殊的光学系统进行准直扩束才能保证通信质

收稿日期: 2010-06-01; 收到修改稿日期: 2010-07-07

基金项目: 广西科学基金应用基础专项项目(桂科基.0832012)和广西信息与通讯技术重点实验室基金(10912)资助课题。

作者简介: 薛 鑫(1985—),女,硕士研究生,主要从事无线光通信方面的研究。E-mail: hduddxx@126.com

导师简介: 陈名松(1967—),男,教授,主要从事光通信和计算机通信网等方面的研究。E-mail: cms@guet.edu.cn

量^[3]。随着技术的不断进步,近年来无线光通信中光束的控制成为一个研究热点^[4,5]。由于光学元件的体积惯量比光学平台的要小,所以其控制装置能够做到轻小型化,只要保证光束稳定就可达到控制目的。目前国内外已有一些相关成果报道,具有代表性的如步进电机控制的连续变焦距光学镜头^[6]、可自动调焦的航空成像设备^[7]和美国国防部用于激光通信的视线系统^[8]等,但光学元件的调焦大多需要在人工操作或计算机控制下完成,所以研制高效、简单、容易实现的准直扩束控制系统就成为无线光通信中急待解决的问题。针对这一情况,本文设计出一种闭合光路模式下准直扩束光学系统的自动控制装置,能够实现无需人工干预实时的激光准直扩束镜头自动连续变焦的功效,从而有效地保持光束的对准。

2 反馈控制原理

反馈控制是自动控制系统中的一种控制方式。自动控制原理中,被控对象的输出量要求保持为某一恒定值,控制装置则是对被控对象施加控制作用的机构总体,采用不同的原理及方式对被控对象进行控制,其中重要的一种是稳定性较好、抗干扰能力强的反馈控制系统。反馈控制系统中,控制装置对被控对象施加的控制作用是取自被控量的反馈信息,用来不断修正被控量的偏差^[9]。

反馈控制方法的一般原理如图 1 所示。原信号输入到控制器,经控制器转换成控制信号,送到执行机构并对控制对象产生控制作用。在外界对控制对象产生扰动的情况下,将输出信号由反馈装置送回控制器进行循环调整。

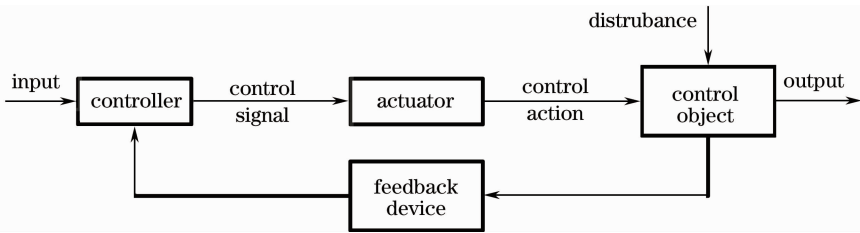


图 1 反馈控制原理图

Fig. 1 Frame diagram of feedback control principle

3 闭环光路自动控制装置硬件设计

3.1 自动控制装置硬件设计

无线光通信中,激光束在传输中由于发散角的存在,随着传输距离的增加,光束发散的面积逐渐增大,仅 1 mrad 发散角的激光束传播 1 km 就会产生直径为 1 m 的光斑。若光斑的直径远大于光学接收系统的孔径,势必引起光强的极大损失。另一方面,通信终端的失准也会直接危害通信系统的质量。此外,光通信系统中还存在摩擦力矩不完全确定、参

数不准确等非线性因素和不确定因素。为提高设备运行的平稳度与可靠性,系统采用反馈控制方法它能够有效抑制上述不利因素对系统精度带来的负面影响。依据上述分析,设计了如图 2 所示的闭环光路下准直扩束系统的自动控制装置。从激光器发射出的光束经准直扩束镜整形后,向接收端(带有反馈收发系统)传播。当发射光束或接收端发生偏移时,可通过反馈的脉冲激光信号控制实现目标的跟踪,有效完成激光准直扩束的自动控制功能。

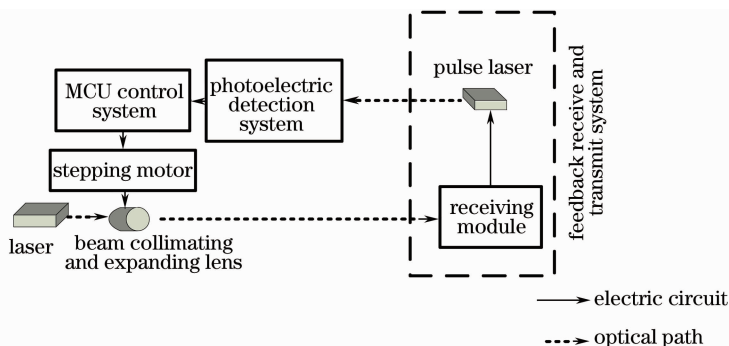


图 2 闭环模式下准直扩束系统的自动控制装置图

Fig. 2 Automatic control device for a collimating and beam expanding system based on optical closed-loop mode

3.2 自动控制装置硬件构成及功能

无线光通信的光束准直扩束过程中,自动控制装置是关键部分。本文设计的自动控制装置包括单片机控制、步进电机组、光电检测和反馈收发系统等。下面对自动控制装置硬件部分进行详细说明:

1,单片机控制系统是自动控制装置的核心部分。在保证系统功能和性能的前提下,考虑无线光通信系统构成的整体复杂度,并发挥单片机自身功能强、体积小、抗干扰、处理数据能力强等诸多优点,采用单片机作为步进电机组控制器,用来提高步进电机组的可靠性^[10]。单片机控制系统由单片机、输入通道、输出通道以及人机对话接口等组成。装置中单片机的主要任务是信号数据处理、协同上位机进行串口通信和驱动步进电机等。

1)单片机:采用 ATME1 公司生产的增强型单片机 AT89S52,具有低功耗的优点,能够方便地实现多机与分布式控制,大大提高控制系统的运转效率及可靠性。

2)输入通道:由信号处理电路和相应的接口电路组成,通过采集光电检测信号,下达控制指令传到步进电机上,由步进电机执行相应的操作。

3)输出通道:包括输出信号电参量的变换、通道隔离和驱动电路等,并向准直扩束光学系统的执行机构发出各种控制信号。

4)人机对话接口:通过 RS-232 串行通讯接口使单片机与计算机相连接,对系统工作过程实施人工干预和结果输出。该部分是激光准直扩束光学系统的间接控制部分,可提供控制电机转动的信号,并负责各系统的初始数据设置,监视各系统的工作状态。

在单片机控制系统的输入、输出通道中,为减少干扰,采用通道隔离技术,选用光电耦合器作为隔离器件,有效减小了尖峰脉冲和多种噪声,保持了光电耦合器的输入和输出间的无电接触,较好抑制了电磁干扰以电耦合的方式进入计算机。

2,步进电机组是准直扩束光学系统的控制机

构,由两台控制不同转动方向(扩和缩)的电机组成。其输入控制信号通过内置光耦进行隔离,采用单脉冲控制方式将电脉冲信号转变为角位移或线位移,仅有周期性的误差而无累积误差。在非超载情形下,电机的转速和停止的位置取决于脉冲信号的频率与脉冲数,不受负载变化的影响。

3,光电检测系统是准直扩束系统闭合光路自动控制的重要组成部分,包括光电探测器和相应的信息处理电路。为保证对端光信号正常接收的情况下接收所需的最小光功率,采用 PIN 光电二极管作为光电探测器,具有响应速度快、光电转换线度好的特点,增强了自动控制装置的稳定性与精准性。通过光电探测器的光电转换从而实现光信号与模拟电信号的转换,再经后级电路放大和处理,形成向单片机发送的电信号。

4,反馈收发系统是区别于一般开环控制系统的关键部分,由光接收处理模块和脉冲激光发射器构成。其中,光脉冲信号由脉冲宽度为几十纳秒的激光产生,重复频率低,用于指示和控制。当光接收处理模块的光电探测器接收到光信号后将其转变成电信号,然后经过处理用于驱动和控制脉冲激光发射^[11],从而校正发射端的光束,完成双端光学天线的粗对准。

3.3 自动控制装置运行流程

准直扩束系统自动控制装置的运行流程如图 3 所示。首先,由激光器发出一定波长的光束,通过初步调焦的准直扩束镜整形后,向接收端传播。由接收端的反馈收发系统进行检测,再通过反馈收发系统的脉冲激光发射器向发送端传递控制信号。然后,光电检测系统的 PIN 光电二极管探测到脉冲控制信号时,通过光电转换并放大,直接将信号输入 AT89S52 单片机,最后由单片机对转换后的控制信号进行处理和传输,送给步进电机一个驱动指令,从而控制准直扩束镜头中透镜的运动,最终实现无线光通信系统中准直扩束光学系统的自动控制功能。

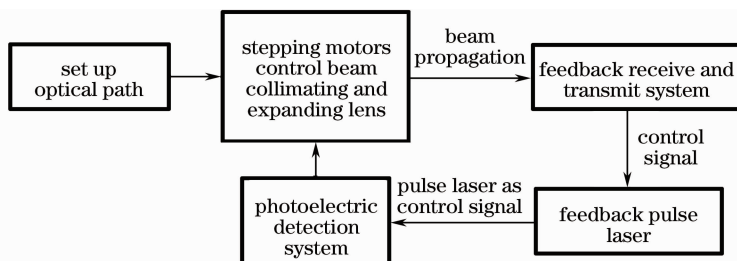


图 3 闭环光路下准直扩束系统的自动控制流程图

Fig. 3 Flow diagram of automatic control of the collimating and beam expanding system based on optical closed-loop mode

4 控制协议和软件设计

4.1 自动控制装置运行控制协议

本文设计的准直扩束系统自动控制装置中,单片机接收命令是被动的,采用实时性的中断方式进行接收。串口通信过程中,光电检测系统是通信的发起者,其接收检测光信息并发送信息的过程是主动的。进行控制指令通信之前,首先根据系统的功能要求制订特定的控制协议,然后编写相应的程序。设计中控制协议内容包括数据的格式、同步的方式、传送的步骤、检纠错方式及控制字符定义等。

准直扩束系统的自动控制过程中,AT89S52单

片机主要控制转动的电机号、电机的转动方向和时间。所有的数据均通过 AT89S52 单片机,由该 8 bit 单片机来翻译传输的控制数据,再发送并控制步进电机动作,其命令格式如表 1 所示。

表 1 控制步进电机动作的命令格式
Table 1 Command format of controlling the stepping motors

Play/stop	Number zoom in/zoom out	Time
-----------	-------------------------	------

4.2 自动控制装置软件设计

控制系统软件的设计决定单片机的固件程序的实现,其各功能模块如图 4 所示。

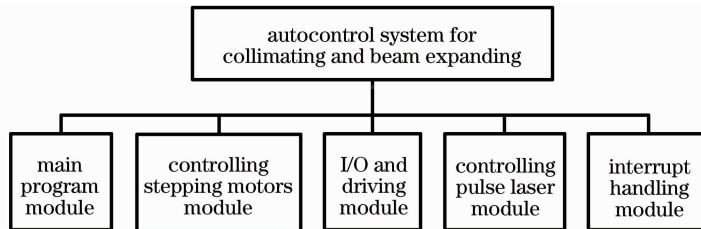


图 4 系统软件设计功能模块图

Fig. 4 Function modules in software design

1) 主程序模块。设计中主程序模块的任务包括给全局变量赋初值、初始化定时器、初始化中断系统和完成对其他各模块的调用等。初始化完成之后进入主循环,并在主循环内查询事件标志,做出相应处理。

2) 电机组控制模块。本设计的 AT89S52 单片机根据接收到的光电检测系统信息数据与上位机发送来的数据进行分析,再发送控制指令。其中重要指令发送给步进电机,主要针对步进电机控制器。

3) 接口电路驱动及输入/输出模块。该模块主要完成 CPU 和串行设备间的编码转换、控制信号识别、接口电路驱动,以及其他单片机 I/O 端口的输入/输出功能。具体工作过程为:CPU 不断扫描端口,若发现命令指示,则调用发送子程序发送相应的操作命令;发送结束后启动接收子程序,接收回送的信息,然后对接收到的信息进行后续处理。

4) 脉冲激光发射模块。该模块位于接收端反馈收发系统的单片机中,主要完成接收分析光电检测器发送的数据信息,然后根据数据内容控制脉冲激光的发射。

5) 中断服务程序。该模块主要对系统运行中的外设请求和异常情况进行处理。串口接收到命令后向单片机发中断指令,然后单片机进入中断服务程序。首先读中断寄存器,判断命令的类型,然后执行相应的操作。中断请求和中断响应过程由硬件完

成。中断服务程序根据需要进行编写,程序中要保护现场和恢复现场,中断返回是通过执行一条 RETI 中断指令返回,使堆栈中被压入的断点地址送给计算机,最后返回主程序的断点继续执行主程序。

5 闭环光路自动控制装置相关实验

依据上述硬件和软件设计方案,研制完成了如图 5 所示的准直扩束系统自动控制装置,并对系统进行了可靠性和功能测试实验。为方便现场实验测试,由几何光学和物理学的基本理论可知,激光远场光斑大小可近似计算为

$$d = L\theta$$

式中 d 为光斑直径; L 为检测距离; θ 为发散角。



图 5 闭环光路自动控制装置实验系统

Fig. 5 Experimental system of automatic control device with optical closed-loop

5.1 可靠性实验研究

为了验证准直扩束系统自动控制装置运行的可靠性,进行了一系列实验。在实际空间中由于温度、湿度、气压、气流波动等都对光线的传播产生影响,所以在保证一定误码率情况下,晴天和雨雾两种不同天气时系统自动控制的运行情况不同。在晴天时影响激光束传播的主要是大气湍流,准直扩束系统自动控制装置通过适当扩展激光束以减小光强起伏和光束漂移对光通信的影响。在雨雾天气时,湍流作用较小而主要是水滴对光束的吸收损耗,通过自动控制装置控制准直扩束光学系统压缩光斑,以保证接收端的光强使通信不至于中断。

在准直扩束系统的自动控制过程中,激光光源的稳定性和发散程度等对激光准直扩束系统影响较大。一方面,若执行控制时经过传输的激光不稳定,激光光束位置发生漂移,将造成光束准直的偏差,常被误以为是光电检测的不灵敏。另一方面,激光束的发散程度影响反馈收发系统接收到的光强大小,从而对系统的控制精度产生影响。此外,准直扩束镜头的选择对激光束的发散角及电机控制电路的设计也产生较大影响,从系统可靠性与方便操作的角度出发,一般采用可调节型直筒螺纹准直扩束镜。

5.2 功能测试

考虑到激光束链路方向中太阳的方位角与高度角的相对位置,无线光通信设备两对端之间的仰角不宜过大,应尽量减少阳光直射对反馈收发系统中光电探测器的不利影响。从激光束发散角情况分析,当发散角大于 6 mrad 时,发散角偏大,不需要准直扩束镜对准,然而通信距离相当有限,最多不会超过 300 m。发散角为 2~6 mrad 时,需在更长的距离上接收相同强度的光信号。发散角必需很小,此时需要用准直扩束系统修正由于光学平台的轻微晃动而产生的误差或脱靶。此外,为尽可能延长通信距离,当发散角在 1 mrad 以下,光线集中在接收机及其周围很小的区域内,应用自动控制装置能够实现稳定、可靠的激光束准直扩束。如图 6 所示,在闭环模式下自动控制装置可在 6 s 内将激光束的发散角从 6 mrad 压缩到 1 mrad 以内。随着压缩发散角的程度增大,束腰半径增加,被扩束的激光束发散角与扩束比呈反比例变化。

反馈收发系统的光接收处理模块未探测到光斑信号时,将向脉冲激光器发送信号,通过脉冲宽度一般为几十纳秒的激光脉冲信号来控制发送端的光学准直扩束系统。此时,发送控制端的光电检测系统

接收到脉冲信号光,表明光束半径未达到合适宽度,便向单片机发送指令驱动步进电机运转,步进电机再驱动齿型带,带动凸轮机构使镜片作直线运动,实现准直扩束镜连续变焦功能。同时,自动控制装置发射端的单片机把从光电检测系统读入的数值和从步进电机读取的数值进行比较,当两者处于很小的误差范围时,步进电机将停止运动,光斑达到接收端接收天线的位置,从而为两对端的通信做好准备。

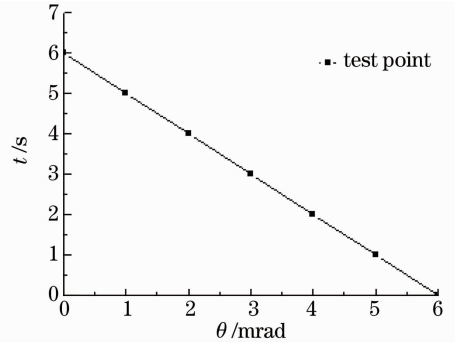


图 6 准直扩束系统自动控制装置功能测试图

Fig. 6 Function test graph of automatic control device for the collimating and beam expanding

6 结 论

无线光通信系统中,准直扩束光学系统的自动控制具有很明显的重要性,直接影响通信链路的建立和稳定。本文提出一种无线光通信中准直扩束系统的闭合光路自动控制设计方案,采用 AT89S52 单片机作为主控制器,运用光电检测技术,实现了硬件系统的搭建,提高了数据处理速度,为采取更为有效的软件编程和实现准直扩束系统自动控制的时机计算提供了基础。由于其控制的光学元件体积量较小,所以自动控制装置可做到轻小型化,能较为方便、高效、实时地实现光束的准直扩束自动控制。此外,实验中还发现杂散背景光的存在对信号光造成一定干扰,所以,抑制干扰信号,保留检测信号,同时增强装置对外界扰动光线变化的自适应性是今后研究的主要方向。

参 考 文 献

- 1 Yu Siyuan, Ma Jing, Tan Liying. Analysis on technique development trend of free-space optical communication [J]. *Optical Communication Technology*, 2004, **12**: 47~50
于思源,马晶,谭立英.自由空间激光通信技术发展趋势分析[J].光通信技术,2004,**12**:47~50
- 2 H. Hemmati. Overview of laser communications research at JPL [C]. *SPIE*, 2001, **4273**: 190~193
- 3 Wang Jia, Yu Xin. Free-space optical communication's current situation and development trend [J]. *Optical Technique*, 2005,

- 31(2); 259~262
王 佳, 俞 信. 自由空间光通信技术的研究现状和发展方向综述[J]. 光学技术, 2005, **31**(2): 259~262
- 4 Liu Liren, Wang Lijuan, Luan Zhu *et al.*. Mathematical and physical basis for pointing, acquisition and tracking testing of inter-satellite laser communication terminals [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(9): 1329~1334
刘立人, 王利娟, 栾 竹等. 卫星激光通信终端光跟踪检测的数理基础[J]. 光学学报, 2006, **26**(9): 1329~1334
- 5 Ding Tao, Xu Guoliang, Zhang Xuping *et al.*. Control of bit error rate introduced by platform vibration for free space optical [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(4): 499~502
丁 涛, 许国良, 张旭莘等. 空间光通信中平台振动对误码率影响的抑制[J]. 中国激光, 2007, **34**(4): 499~502
- 6 Zou Hua, Zhang Mengwei. Realization of zooming control for a continuous zoom optical lens with step motor[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2003, **30**(1): 29~31
邹 华, 张孟伟. 用步进电机实现连续变焦距光学镜头的变焦控制[J]. 光电工程, 2003, **30**(1): 29~31
- 7 Zhou Jiufei, Zhai Linpei, Zhou Gang *et al.*. Autofocus method of aerial imaging device [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(1): 105~108
周九飞, 翟林培, 周 刚等. 航空成像设备自动调焦方法[J]. 光学学报, 2010, **30**(1): 105~108
- 8 Neil J. Vallesterio, Mark Khusid, Narasimha S. Prasad *et al.*. Free-space optical communication systems (FOCUS): a U. S. Army overview [C]. *SPIE*, 2002, **4821**: 276~282
- 9 Hu Shousong. Automatic Control Principle [M]. Beijing: Science Press, 2001. 1~7
胡寿松. 自动控制原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. 1~7
- 10 Guo Wei, Cui Qun. Design of stepping motor control system based on single chip microprocessor [J]. *Journal of Anhui University of Technology and Science*, 2006, **21**(3): 59~62
郭 威, 崔 群. 基于单片机的步进电机控制系统的设计 [J]. 安徽工程科技学院学报, 2006, **21**(3): 59~62
- 11 Hu Zhuli, An Wenyuan, Li Ling *et al.*. Research of electro-optic examination based on technology of monolithic computer [J]. *Modern Electronic Technique*, 2004, **13**: 39~41
胡助理, 安文源, 李 玲等. 基于单片机技术的光电检测研究 [J]. 现代电子技术, 2004, **13**: 39~41