

激光雷达一键控制光束自动准直调节的实现

谭莹^{1,2,3,4} 吴夏颖^{1,2,3} 彭新忠^{1,2,3} 易帆^{1,2,3}

¹ 武汉大学电子信息学院, 湖北 武汉 430079
² 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室, 湖北 武汉 430079
³ 武汉大气遥感国家野外科学观测研究站, 湖北 武汉 430079
⁴ 中国科学院空间天气学国家重点实验室, 北京 100190

摘要 大气探测激光雷达为保证观测到有效数据,在每次观测前必须进行收发光路的对准。为了保证激光光束有较小的移动时不会影响回波信号的接收,需将激光光束调节到望远镜视场的中心位置。采用螺旋式光束扫描方法以实现光斑进入视场,达到初步准直;提出了一种十字形光束扫描方法将激光光束调节到望远镜视场的中心位置。编制了相应的计算机软件,实现了一键控制激光光束自动准直调节。

关键词 大气光学;激光雷达;自动准直;激光光束

中图分类号 TN958.98 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201138.s114005

Implementation of Self-Aligning System with a Single Click for the Lidar

Tan Ying^{1,2,3,4} Wu Xiaying^{1,2,3} Peng Xinzhong^{1,2,3} Yi Fan^{1,2,3}

¹ School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430079, China

² Key Laboratory of Geospace Environment and Geodesy, Ministry of Education, Wuhan, Hubei 430079, China

³ State Observatory for Atmospheric Remote Sensing, Wuhan, Hubei 430079, China

⁴ State Key Laboratory of Space Weather, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract In order to get the right lidar data, a well alignment of transmitter-receiver optical system is essential. To get right lidar data when the laser beam moves slightly, it is necessary to adjust the beam to the center of the telescope field of view. The laser sweeps the space describing a spiral in the plane at the beginning until a small part of the beam is detected by the telescope. Then a cross scanning of beam is presented to adjust the laser beam until it falls in the center of the telescope field of view. A dedicated software has been developed to execute the self-alignment procedure. The self-alignment of transmitter-receiver optical system can be accomplished with a single click.

Key words atmospheric optics; lidar; self-alignment; laser beam

OCIS codes 010.1290; 010.3640; 140.3460; 220.1140

1 引言

在进行激光雷达大气探测过程中,常常由于观测平台震动、波长变更或者温度变化等原因导致激光雷达系统的发射光束和接收视场不匹配,这样会引起测量信号产生相当大的误差,因此,在激光雷达每次测量前必须进行收发光路的对准,使收发光路

平行,才能观测到有效的数据。特别是对于中高层探测的激光雷达系统,为减少天空背景光的干扰往往需要减小接收视场角,对自准直精度要求很严格。由于接收望远镜在整个系统中体积较大,接收光轴不易调整,因此,目前多采用电控步进电机来控制折返台,进而调节发射激光束的指向来完成收发光路

收稿日期: 2011-08-01; **收到修改稿日期**: 2011-09-15

基金项目: 国家重点实验室专项基金(08262DAA4S)资助课题。

作者简介: 谭莹(1963—),女,博士,教授,主要从事激光雷达和激光技术及应用等方面的研究。

E-mail: whutanying@yahoo.com.cn

平行。在自准直过程中,若是人工调整,需要通过回波信号强度和观测经验来判断望远镜是否进入了视场。调整过程对操作人员的专业水平要求比较高。随着激光雷达自动化程度的提高,激光雷达系统自动调节过程中的精度也需要进一步的提高。为避免人为误差,保证每次光路调节的有效性,提高激光雷达的工作效率,有效地节省调整光路的时间,设计一套激光光束自动准直系统实现自动校准的功能,可以降低操作人员的水平要求,降低操作复杂性,对激光雷达系统自动化进程也具有很重要的意义。

意大利的 Matera 物理研究所和 Naples 大学物理系在 1998 年报道了一台自准直高空激光雷达,使用一个高精度的二维电动调整架以改变激光方向,控制软件可以使激光束作螺旋式扫描或十字形扫描,根据雷达大气回波信号的幅度达到最大来决定光轴方向,实现系统准直^[1,2]。国内也有高空激光雷达不同程度地采用了类似的自动准直技术,用两个高精度步进电机来控制 45° 反射镜方位,分别实现发射激光束沿东西和南北方向扫描^[3,4]。本工作采用文献[1,2]的螺旋式光束扫描方式以实现光斑进入视场(FOV),达到初步准直;提出了一种十字形光束扫描方法将激光光束调节到望远镜视场的中心位置。编制了相应的计算机软件,实现了一键控制激光光束自动准直调节。

2 自准直系统原理

为了实现激光雷达系统的自动化,减少人工参与,设计中激光雷达控制台自准直软件是结合粗调(找视场)和精调(找视场中心)两步来实现的。粗调是指当激光器或者控制台有较大调整时,激光器出光经过二维扫描控制台上的反射镜后,激光光束在空中偏离望远镜视场,此时接收望远镜收到的只有噪声信号,在这种情况下,不知道激光光束的位置,所以需要通过对调节二维扫描控制台反射镜的位置来改变光束指向,在天空中搜寻望远镜视场,通过对望远镜回波信号进行实时处理,来判断激光光束是否进入了望远镜视场。精调是指在通过对回波信号进行分析判断,确定激光光束已经完全进入或者部分进入望远镜视场后,将激光光束调节到望远镜视场的中心位置,以保证接收信号强度在以这个点为中心的光束范围内,接收望远镜接收到的回波信号强度最大。

2.1 自准直扫描方式

采用螺旋式扫描与十字形扫描相结合的方式对

激光光束进行调整。螺旋式扫描用于粗调,十字形扫描用于精调。

2.1.1 螺旋式扫描

意大利的 Matera 物理研究所和 Naples 大学物理系在 1998 年报道了一台自准直高空激光雷达,使用一个高精度的二维电动调整架改变激光发射方向^[1,2]。控制软件可以使激光束作螺旋式扫描。螺旋式扫描,顾名思义是通过调节二维反射镜的指向,使激光光束以螺旋的形状在空中搜寻望远镜视场。方法如图 1 所示。螺旋式扫描针对的是激光光束偏离望远镜视场较远的情况,假设光束最初的位置在图上标示的起点位置,随着扫描的时间延长,激光光束扫描的半径逐渐增大,只要步进电机步距不超过激光光束的半径,那么一定可以搜寻到望远镜的视场。

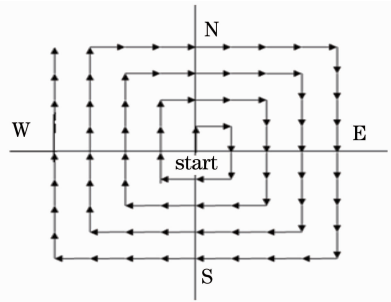


图 1 螺旋式扫描示意图

Fig. 1 Illustration of spiral scanning

2.1.2 十字形扫描

十字形扫描方法是指在南北和东西两个方向上进行完整的扫描。如果扫描过程中激光光束持续一段时间完全进入望远镜视场内,在这个高度上回波信号强度的图形从理论上分析就是一个梯形。

下面分析望远镜与发射光束相对位置为离轴发射的情况,其设计方法对同轴系统同样适用。发射光束在东西向与南北向两个平面内进行调节,调节时先进行东西方向扫描,然后再南北方向。以南北向扫描为例,发射光束与望远镜接收视场如图 2 所示。由于激光器混频后发射的紫外光束模式比较复杂,包含很多高阶传输模,在抖动大气的传输中,对其强度分布有随机的平滑和展宽效应,再加上较大的望远镜接收孔径的平均效应^[1],在远场有效光束截面内的能量强度分布可以近似认为是均匀分布的。因此激光束从左至右时被望远镜接收到的回波能量与光束指向角构成梯形函数分布^[1]。

提出了采用以下十字形扫描方法将激光光束调节到望远镜视场的中心位置的方法。

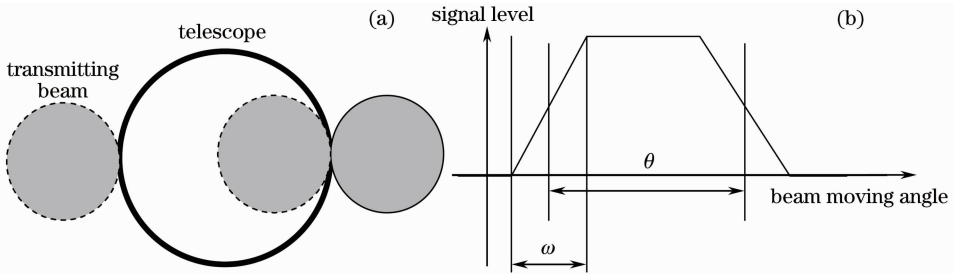


图2 (a)发射光束和望远镜接收视场;(b)信号强度和光束指向角的函数关系

Fig. 2 (a) Transmitting light beam and FOV of telescope; (b) signal level as a function of the laser beam direction

十字形扫描过程如图3所示,假设最初的螺旋式扫描找到视场时进入点为A,进入视场后一直沿着原来的方向移动,直至回波信号检测到激光光束离开了望远镜视场(B点),处理视场内得到的点的的数据,并求得中心点C,移动到中心点处。然后沿着与原来方向垂直的方向移动,当然,这个时候,并不知道光束应该向哪个方向移动。理论上分析,只要与其垂直就可以了。要做的只是离开望远镜视场,然后反向扫描出一条类似AB的轨迹。实际过程中,为了节省扫描时间,在C点时将扫描方向进行判断,以C点为中心,向东西分别移动后,判断两边信号的强弱。沿着信号轻度较弱的方向移动,就能以较快的时间离开视场,图中以D点表示。到达D点以后,反向扫描,直至激光光束离开望远镜视场(E)。然后对DE线上进入视场内的点进行数据处理,求得的中心点O即为望远镜视场中心位置。

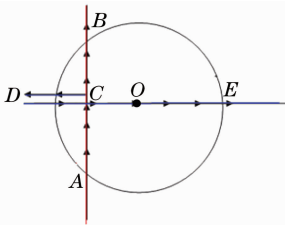


图3 十字形扫描示意图

Fig. 3 Illustration of cross scanning

2.2 求视场中心算法

螺旋式扫描的功能是找望远镜视场,而十字形扫描的功能是找到望远镜视场后,确定当前移动方向的中心位置,因此求视场中心算法是针对十字形扫描。具体功能是找到一次扫描方向上的中心点。在晴朗无云的夜晚,激光雷达在指定高度有效光束截面内的能量强度分布可以近似认为是均匀分布的,不会有很大的抖动,但是,由于激光器自身频率有少量抖动,相同高度上的大气不是理论上标准的均匀分布,另外望远镜视场内接收到的信号其实是包含背景噪声的,这种背景噪声是服从随机分布

的^[1]。所以在实际处理中,先对单次采集的特定高度的回波强度进行简单的滑动平均,减少背景噪声以及激光器系统硬件等产生的随机信号强度的干扰。然后通过下式求光束在当前方向上经过望远镜视场扫描路径的中心点:

$$W = \frac{\sum P_i W_i}{\sum P_i}, \quad (1)$$

式中W为扫描过程中步进电机在某个指定方向上的位置, P_i 为所对应特定高度在当前位置处经过平均处理后的回波强度值,在实际处理中设定 $P_i > 3P_0$ 的信号为进入视场的标准。 P_0 为当时条件下的设定的系统背景值。系统背景值选取的方法有两种,第一种是用不出光时,天空背景回波信号值为背景,需要取一定时间内脉冲数强度的平均。第二种是使用任何一组回波信号中在指定高度上不包含任何有效信息的数据平均。

3 激光光束自动准直系统的软件设计

激光雷达观测系统除了激光雷达自身包括的激光器、接收望远镜和信号探测采集单元外,还包括3个模块:两个步进电机组成的控制单元、二维反射镜、信号实时处理与控制算法软件模块。当发射光束与望远镜接收视场不同轴时,激光光束自动准直

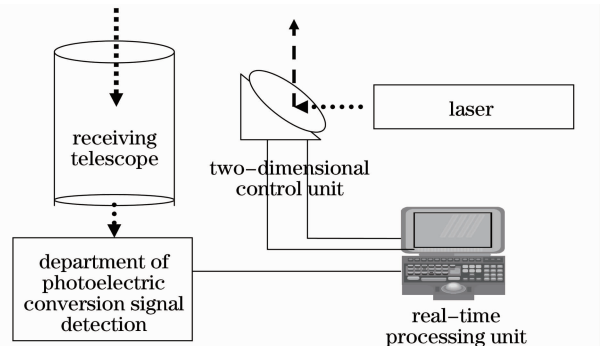


图4 控制台结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the console

系统结构框图如图 4 所示。

激光器出光后,经过小孔光阑,打到激光雷达二维控制台的反射镜上,然后垂直射向天顶。控制系统通过对激光雷达光束二维控制台和信号处理单元的控制,实现系统操作自动化和数据实时处理,控制台的步进电机通过串行总线与控制 PC 连接,可以通过 PC 来对步进电机以及信号处理进行初始化设置。

二维控制单元由二维反射镜和电机控制单元组成。二维反射镜是一块高度平行的反射镜,由两个步进电机控制,步进电机可以在南北和东西两个方向上移动,当激光光束打到二维反射镜上的时候,步进电机移动的同时带动安装在前面的反射镜做二维的转动,就可以控制光束在空中做二维的扫描。电机控制单元由两个步进电机,两根 DB9 口的 RS232 数据线以及一个 PCI 卡组成的。通过编写的控制软件,可以发送命令给 PCI 卡,以此来控制步进电机,步进电机每移动一小步,步进电机上面的刻度盘便转动一格。通过软件可以保证两个步进电机分别控制南北和东西方向的转动,由此来精确调节激光反射镜的角度,从而完成发射光束的指向调节。

从程序上来讲,粗调是大范围内搜索,找到望远

镜接收视场区域就可以了,扫描时步进电机扫描的步距比较大。而精调则要找视场内激光光束指向最适合的点,以保证接收信号强度在以这个点为中心的光束范围内,接收望远镜接收到的回波信号强度最大。理想情况下,望远镜视场在一个区域内都能得到较好的回波信号,但是,考虑到仪器会有较小的移动。为了保证较小的移动不会影响回波信号的接收,所以将光束指向的中心确定为回波信号接收范围很强区域的中心。在这种情况下,即使有微小偏移,光束指向依然在望远镜视场中心。

激光雷达系统的控制与显示软件是在 Windows 平台下用 Visual C++ 编写的,软件界面简单直观,功能强大,集整个系统的控制显示于一体。在程序设计中将扫描方向设计为四种模式,从而实现螺旋式扫描到十字形扫描过程中的过渡,结合相关函数,完成了两种扫描功能的实现。本软件可以手动调节步进电机的步距,进行南北和东西方向上的调节,包括手动拖动滚动条的方式和单步点击滚动条两边的单步按钮方式。同时添加了自动准直的功能,无论激光光束偏离视场是远还是近,只需要选中自准直复选框,点击 Auto 按钮,激光雷达系统中的二维反射

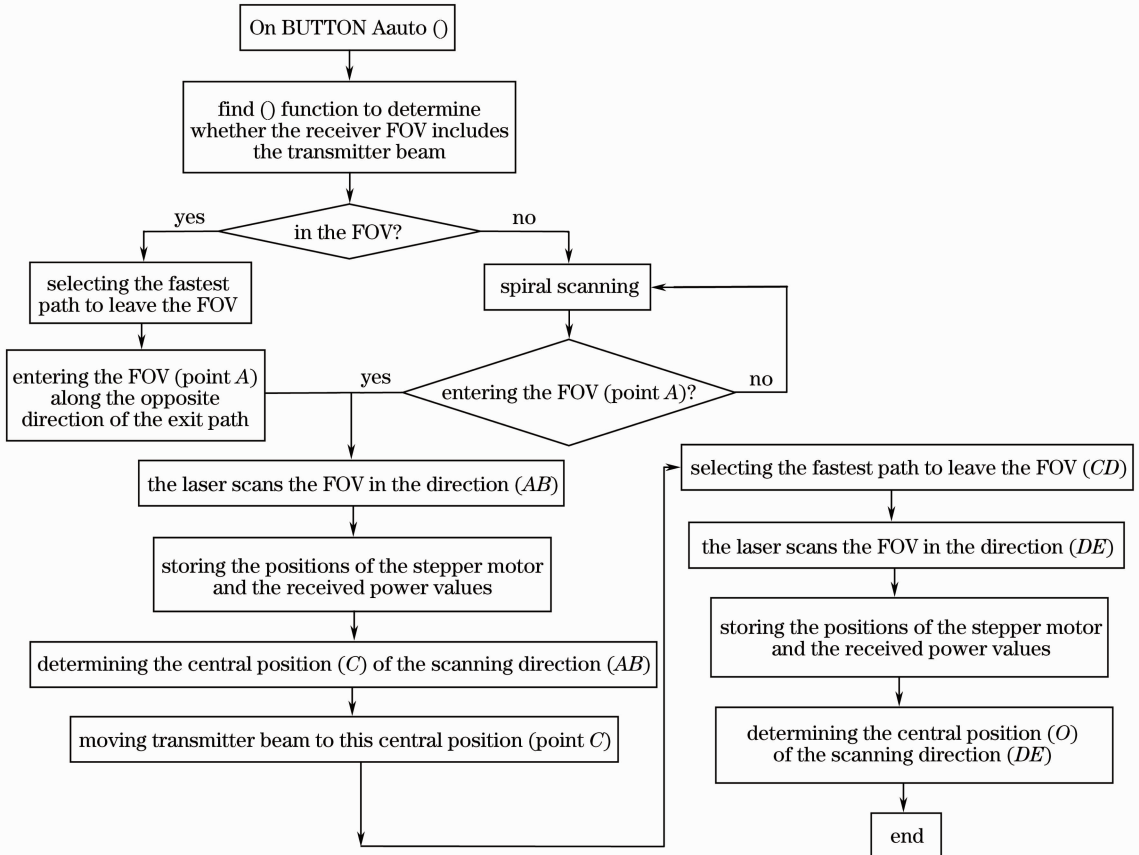


图 5 控制软件流程图

Fig. 5 Control software flow chart

镜控制台会调节激光光束指向,自动搜索望远镜视场,实现一键化准直。操作简单,对操作人员的技术水平要求不高。同时添加急停按钮,在扫描光束的过程中,如果出现意外情况,通过点击 STOP 按钮,可以实现急停。软件控制流程如图 5 所示。激光雷达控制台对话框部分如图 6 所示。实现一键化准直的主要函数见图 7。

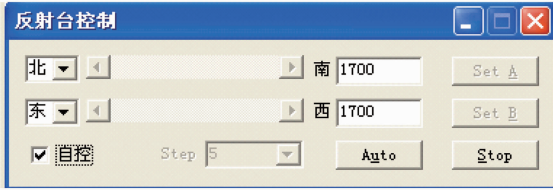


图 6 激光雷达控制台对话框部分界面

Fig. 6 Dialogue box of console

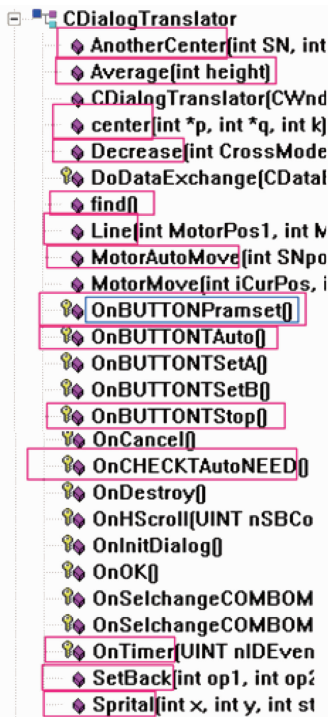


图 7 实现一键化准直的主要函数

Fig. 7 Main functions for the self-alignment

4 实际应用

铁共振荧光激光雷达可以探测在大约 80 ~ 110 km 高空大气铁层中的铁原子浓度分布,有助于

了解铁原子浓度的时、空演变,并可由此研究流星的活动、平流层和中间层大气的垂直输送过程以及高层大气的光化学反应等高层大气物理过程。此外,还可以获取中层顶大气的温度剖面。已建成铁共振荧光/瑞利激光雷达和铁玻尔兹曼测温激光雷达。每次观测时要想得到较好的回波信号,必须对发射系统和接收系统进行联合调节,使发射光束与接收视场相匹配,即使发射光束的截面与接收视场在观测高度处重合。由于本系统主要用于探测 90 km 附近的铁层,所以必须使两者在 90 km 附近精确重合。将本文设计的激光光束自动准直系统的软件模块加入到铁共振荧光激光雷达系统的控制与显示软件中,点击 Auto 按钮,实现了一键化准直的功能。运行时间与望远镜和激光光束起始相对位置和选择的扫描步距大小有关。

5 结 论

介绍了一种激光雷达自准直系统的原理,当发光轴偏差太大时(如激光雷达系统首次运行或重大变动后),它采用使激光光束以螺旋的形状在空中搜寻望远镜视场,当激光光束进入了望远镜视场但不是视场中心位置时,它采用文中提出的一种十字形扫描方式以使激光光束快速进入望远镜视场中心。给出了详细的控制软件流程图。利用 VC 下类进行封装后的 MFC 进行了界面编程并把它加入到了基于 Visual C++ 编写的铁共振荧光激光雷达系统的控制与显示软件中,实现了一键化准直的功能。该方法可用于各种大气探测激光雷达的自准直系统中。

参 考 文 献

- 1 L. Fiorani, M. Armenante, R. Capobianco *et al.*, Self-aligning lidar for the continuous monitoring of the atmosphere[J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(21): 4758~4764
- 2 X. Wang, M. Armenante, R. Capobianco *et al.*, Self-aligning lidar system and its application[C]. *SPIE*, 1998, **3504**: 31~40
- 3 Liu Bo, Yi Fan, Yu Changming. Methods for optical adjustment in lidar systems[J]. *Appl. Opt.*, 2005, **44**(8): 1480~1484
- 4 Liu Xiaojin, Hu Shunxing, Li Chen *et al.*, Lidar for monitoring sodium layer of the atmosphere [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, **33**(9): 1~14
- 刘晓勤, 胡顺星, 李琛等. 一台检测高空钠层的激光雷达系统[J]. *光电工程*, 2006, **33**(9): 1~14

栏目编辑:李文洁