

高重复频率激光器在机载扫描激光测距中的应用

胡以华 魏庆农

(中国科学院安徽光学精密机械研究所 合肥 230031)

文摘:文中给出了一种采用高重复频率激光器的机载扫描激光测距系统,总结了高重复频率情况下机载扫描激光测距的设计与实现特点。实验结果表明,高重复频率激光器是实现高地面分辨力的机载三维信息采集的重要保证。

关键词: 激光器 机载激光扫描 激光测距

APPLICATION OF A LASER WITH HIGH PULSE REPETITION RATE IN AIRBORNE SCANNING LASER RANGING

Hu Yihua Wei Qingnong

(Anhui Inst. of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Hefei, China, 230031)

Abstract: It is introduced in this paper that an airborne scanning laser ranging system in which a laser with high pulse repetition rate is used. The characteristics on the design and realization of an airborne scanning laser ranging system under high pulse repetition rate are summarized. The experimental results show that the laser is an important assurance for doing 3-D airborne information acquisition with high ground resolution.

Keywords: Laser Airborne laser scanning Laser ranging

1 引言

激光测距给机载地面测绘或地面三维信息采集带来了新的活力。对一定区域内地面采样

收稿日期:1997年2月3日
修回日期:1997年4月8日

作者简介:胡以华 男 35岁 讲师 从事雷达和通信对抗专业的教学与科研工作,取得了多项研究成果。

点的测量,目前一般采用激光束扫描方式获得飞行航线的横向地面采样点斜距数据,然后与其它信息一起由信息处理系统求得地面采样点的三维坐标。在扫描激光测距中,高重复频率激光器是实现高分辨力地面三维信息采集的重要保证,但随着激光触发重复频率的提高以及扫描光学结构的运用,测距系统的设计实现和工作控制都存在着其自身的特点,有必要认真总结,便于以后系统设计时参考。

2 机载扫描激光测距系统的主要组成及对激光器的要求

机载扫描激光测距系统的主要组成如图 1 所示。

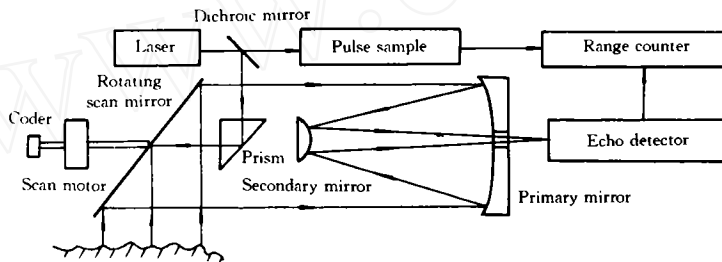


图 1 机载扫描激光测距系统主要组成

Fig. 1 Main configuration of an airborne scanning laser ranging system

扫描转镜平面在电机的带动下旋转,与此同时,编码器也随着转镜同步转动并把给出同步触发脉冲送到激光器控制器和激光探测等电子系统中。当转镜平面朝向天底方向某一个视场范围内时,激光器在控制器的触发下输出激光脉冲,探测电路由同步脉冲控制而达到一定工作状态。发射激光经过转折棱镜和平面转镜的导向而射向地面,同时,地面的后向散射回波通过平面转镜被接收望远镜的主镜收集,再由望远镜次镜将其会聚到回波探测器上,便能检测到回波脉冲信号。在激光发射光路上设有一分色片,将绝大部分光束能量反射到棱镜上,让极小的一部分能量透到主波取样探测器上,以获得发射激光主波脉冲,它与回波脉冲一起送到距离计数器中而得到不同扫描方向的地面采样点的斜距数据,从而实现了机载扫描激光测距。

在实际应用中,一般进行扫描测距的视场范围约为 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。因此,在转镜旋转一周的大部分时间内激光测距处于休止期,激光器也不发射激光,因此测距同步触发脉冲具有非均匀特性。如果转镜的转速为 Ω 转/s,扫描视场范围为 θ rad,每行采样点数为 N ,则在以扫描行为单位的一个周期 $T = 1/\Omega$ 中,要求同步触发脉冲提供 N 个间隔为 $\Delta t = \theta/2\pi\Omega N$ 的脉冲,余下的 $T - N\Delta t$ 时间为休止期,此处的 Δt 就决定了激光脉冲的重复率和回波探测的响应时间。

由于机载扫描测距的目的是为了生成地面三维图形,因而对地面的测量点越密集,所获得的三维图形就更能反映地面的真实特征,即水平分辨率高。水平分辨率与飞机的飞行速度、高度成反比,与激光的脉冲重复率成正比。最重要的是后者,因为飞机的飞行速度不能

大小、高度不可能太低,只有通过提高激光的脉冲重复率来提高地面分辨力。高重复频率激光器的使用在技术和经济上存在着一定的限制,激光器重复频率的提高需要提供足够高的能量和良好的散热条件,激光器的冷却装置和电源的体积和质量会增大,激光器的寿命会缩短,高重复频率下的激光脉冲功率相对来说可能降低,可探测距离受到影响。在高重复频率下,对回波探测、信号处理、距离计数和数据传送都提出了更多的要求。

3 实验用高重复频率激光器

机载扫描激光测距需要高重复频率的激光器,美国光谱物理公司生产的 TFR 激光器是比较理想的一种,它是以 Nd:YLF 为激活介质的二极管泵浦固体激光器,工作波长为 1047nm,由于其紧凑折叠腔结构和二极管泵浦的高效率设计,使其具有体积小、质量轻、功耗低的特点。该激光器的门限泵浦功率约 1.5W,激光二极管功率达 8W 时,可达到指标功率输出。激光器的输出端有一个 LiNbO₃ 电光调 Q 开关,一个偏振片和一个 1/4 波片, LiNbO₃ 调 Q 开关由一个上升时间小于 10ns 的高压开关驱动,驱动电路允许工作重复频率达到 10kHz。在本实验系统中,根据对分辨力的要求,激光器工作重复频率大于 1kHz,此时,脉冲能量达到 500 μ J 以上,脉冲宽度小于 7ns。该激光器的工作对温度、泵浦电流和触发控制要求比较严格,因而对其使用存在着特殊性。其脉冲能量和宽度与脉冲重复率之间的关系如图 2 所示。

4 系统实现的主要特点

在实现上述激光器为辐射源的高重复频率扫描触发工作方式下的测距系统时,通过对其特殊性的研究以及反复设计和实验,其具体实现方法存在着明显特点,主要有:

(1) 对激光器的控制

首先,激光器中激光棒的温度必须控制在所设定温度之下,误差不超过 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,通过实验发现其设定温度在 24.1°C 时输出功率最大,为了达到如此的工作环境,激光器需要循环水温度控制器,它的工作温度要在 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间。因此,在设计可能较长时间工作的系统时,需要综合考虑飞机上的载荷与供电情况并选择带有加热和冷却两种功能的水循环设备;同时,该激光器已经设计了热电偶对激光棒的温度作小范围控制,使其达到设定值。当热电偶温控失调时,激光控制会自动关机。对激光器的控制必须严格按照规定进行,尤其在激光测距中使用外触发方式时,务必要设计一定的时序信号控制泵浦二极管电流的变化以及调 Q 开关的触发时间。激光器外触发时的时序应满足图 3 所示的

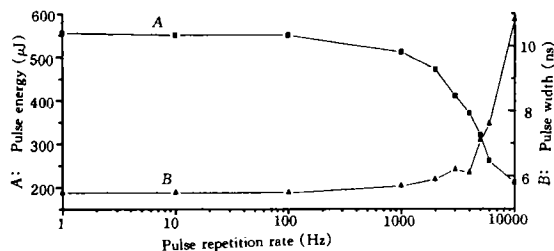


图 2 激光器输出的脉冲能量和宽度与脉冲重复率之间的关系

Fig. 2 Relationship of pulse energy, pulse width of the laser output and pulse repetition rate

要求。图 3 中第一根曲线代表泵浦源电流的控制曲线,第二根曲线是扫描转镜朝扫描视场方向的扫描波门, TTL 高电平有效,第三根曲线是同步脉冲。它和扫描波门相“与”而得到第四根曲线即激光触发脉冲。在扫描波门低时,表示转镜没有进入扫描测距范围,此时没有激光触发脉冲,激光器不输出激光,泵浦电流可以为常值,但在每一个扫描行准备发射激光之前至少 30ms 内(或激光器复位后输出第一个激光脉冲之间至少 60ms 内),必须由泵浦控制信号控制信号控制泵浦电流变到常值的一半,然后再接受激光触发脉冲。

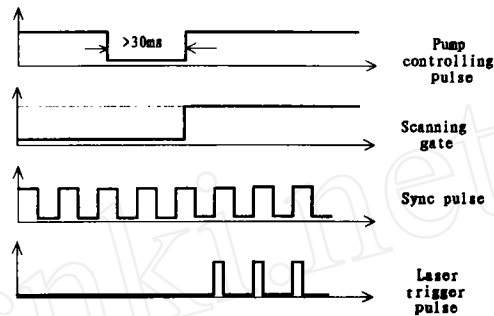


图 3 激光器控制时序关系

Fig. 3 Controlling time sequence of the laser

(2) 回波探测器工作状态的调整

对于激光脉冲探测,目前近红外波段纳秒级脉宽的激光脉冲的最佳探测器是雪崩二极管探测器,在它工作时必须加几百伏的偏置电压,其倍增因子与噪声和它的偏置高压大小有关,仅当偏压始终处在与最佳倍增因子对应的最佳工作电压上,才能获得最佳信噪比。在机载扫描光测距时,所遇到的背景辐射复杂多变,工作环境也不一样。另一方面大气的近距离后向散射比较大,由于采用了发射、接收的同轴,发射激光时导向棱镜和转镜上的散射,进入探测器后都可能使电路阻塞饱和。所以,为了保证在任何情况下雪崩管都能正常工作,应该在每个工作周期内自动调整探测器的工作状态,也就是说自动调整雪崩管的偏压大小和后接的视频放大器增益等参数。这种调整在同一个触发周期内不同的时间段上所进行的调整工作是不一样的,比如有背景噪声控制、发射脉冲抑制、盲区控制等,因而在高重复频率情况下就要求有较高的调整速度和比较准确的调整时序。所以,不能沿用低速或单次测距时的雪崩管状态等调整方法,需要采用可编程方式来进行准确的控制。

(3) 转镜扫描的非均匀触发

在机载扫描激光测距系统的飞行实验中,发现了一种现象,在某一飞行高度时,当激光束由空中射向地面从左向右作直线形扫描时,右边地面采样点数据一部分丢失,飞行高度越高则丢失的数据越多,初步分析可以认为是采用了图 1 所示的转镜扫描结构时非均匀触发带来的影响。当激光器泵浦电源始终保持恒定时,由图 2 可知不同的触发周期时的输出功率存在着差异,所以在每行扫描的起始第一个脉冲触发时,相当于较低的等效工作频率,所以输出功率较大,而其后紧接的各触发脉冲随着等效触发频率的增加,输出功率相应减小,触发脉冲足够多时的激光输出才趋于稳定。在实验系统中地面一个扫描行的采样点数仅为 $N=8$,激光输出功率呈现非稳态特性是很明显的,从而当扫描转镜控制激光束在地面上从左到右扫描时,右边的发射激光功率大,而偏向右边时的激光功率逐渐减小,这就可能探测不到激光回波。为了解决这一问题,可以采取激光器连续触发而用快门仅在扫描视场范围内选择激光输出的办法,但在高重复频率工作情况下这种方法是不可取的,不仅加大了功率消耗,而且相对缩短了激光器的使用寿命。在本系统实现时,首先用存储示波器同步观察同

一个目标的连续 8 个回波脉冲的探测信号幅度,通过比较它们的大小可以证实脉冲功率确实是逐渐减小的;然后用它们的幅度比值,设计每个触发脉冲时应该提供给激光器泵浦源的电流。在工作时通过激光器控制器自动实施电流大小控制,从而实现了较均匀的激光脉冲输出,前述的显现也基本消失。

5 结束语

高重复频率激光器的扫描激光测距系统已用于机载三维信息采集,当飞机速度为 180km/h, $\Omega = 20$ 时,地面采样点的纵向间隔为 2.5m;在 $\theta = 45^\circ$ 、 $N = 8$,飞机高度为 600m 时,每行中的地面采样点横向间隔约为 60m,采用了逐行错位激光输出扫描方式后,在地面上 60m \times 60m 的范围内沿对角线采样了 25 个点,那么等效的地面采样点间隔约为 12m,所以等效最小可分辨区域是 12m \times 12m,这时需要激光器的工作重复频率为 $1/\Delta t = 1280\text{Hz}$ 。由此可见,高重复频率激光器的使用大大提高了机载扫描激光测距的地面分辨力,但是,对它的应用要求比较严格,必须采取新的设计方法和实现手段,这已经得到了实际实验的证实。

参 考 文 献

- 1 John Banic, Sebastian Sizgoric & Robert O'Neil, Scanning Lidar Bathymeter for Water Depth Measurement, SPIE Vol. 663, Laser Radar Technology and Applications, 1986
- 2 Wong H and Antoniou A, Characterization and Decomposition of Waveforms for LARSEN 500 Airborne System, IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, Nov.1991, GE-29 (6)
- 3 霍联正,雪崩光电二极管对空激光测距接收机,激光技术,1993, 17, (3)

(上接第 53 页)

参 考 文 献

- 1 Bouse U and Hart M An X-Ray Interferometer, J. Phys. D, 1965, 16, (8)
- 2 Hart M, An angstrom ruler, J. Phys. D. 1968, 1:386
- 3 Bowen D K et al, Subnanometre displacements calibration using X-ray interferometry, Meas. Sci. Technol. 1990, 1: 107~109
- 4 Tanama M. et al, Experiment on the Absolute Measurement of a Silicon Lattice Spacing at the NRLM, IEEE Trans. Instrum. Meas., 1989, (38):206~209
- 5 Becker P, Translation stage for a scanning X-ray optical interferometer, Rev. Sci. Instrum. 1987, 58(2):207~211
- 6 Richard D. Deslattes, Application of X-ray Interferometry, Natl. Bur. Stand. (US) Spec. Publ. 1984, 617