

激光测高技术的发展趋势

季云飞, 耿林, 冯国旭, 王鹏飞

(固体激光技术国家级重点实验室, 北京 100015)

摘要:激光测高技术作为一种的先进测量手段,已广泛应用于地形地貌测绘、地球科学研究、航天工程、城市规划、森林资源调查等诸多方面。虽然激光测高技术已相对成熟,但随着激光技术的发展和应用需求的拓展,激光测高技术仍有很大的发展空间。通过对国外近期研制或正在研究的几个具体激光测高设备的介绍和分析,总结了激光测高技术的一些典型技术特点和发展趋势,介绍了多光束发射和接收、单光子探测、多回波测量和多功能集成等技术在激光测高仪的应用。这对开展新型激光测高技术的研究具有一定参考价值。

关键词:激光测高;多光束;单光子探测

中图分类号:TN249 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2011.08.002

Progress and prospect of laser altimeter technology

Ji Yun-fei, GENG Lin, Feng Guo-xu, WANG Peng-fei

(National Key Laboratory of Solid State Laser Technology, Beijing 100015, China)

Abstract: Study on laser altimeter technology has had a history of decades. It has also been used in wide application fields such as topography, geodesy, astronautics, resource survey, etc. Although the technology is relatively mature, it still has a wide developing space as the laser technology and application requirements develop fast. By studying several practical systems which are developed recently or under research, the developing tendency and prospect of laser altimeter are summarized. The technology of multi-beam, single photon detection, multi-shot counting and multi-function system are introduced, which might offer reference for the research of new type laser altimeter.

Key words: laser altimeter; multi-beam; single photon counting

1 引言

激光测高技术是指利用机载或星载的激光测高仪,对地面目标进行高度测量,高度数据结合载体的位置(由全球定位系统 GPS 测得)和姿态信息(由惯性测量系统 IMU 获取),经数据处理后可以得到地面目标的三维信息模型。自 20 世纪 70 年代对激光测高技术进行研究以来,已有许多产品得到了成功的应用。目前,激光测高技术作为一种快速发展的先进测量手段,已广泛应用于地形地貌测绘、地球科学研究、航天工程、城市规划、森林资源调查、电力线路勘测和水利工程等诸多方面。

虽然激光测高技术已相对成熟,但是随着激光技术、信息技术的快速发展和应用需求的不断提高,

激光测高技术也在不断的发展之中。例如,为了提高测绘效率,快速得到高密度的三维数据,在新一代的激光测高仪中,将激光发射器由单束发射发展为多束发射^[1];为了提高测高仪的探测灵敏度,获得更多的测量数据,探测方式由过去的模拟信号探测发展为单光子计数探测方式^[2-3];为了获取云层分布、植被高度、海岸构造等信息,测高仪的信息处理系统由单回波测量发展为多回波测量方式;在一些航天应用中,激光测高仪除了具有高度测量功能外,还具备通讯和定位等功能。对于激光测高技术的这

作者简介:季云飞(1979-),男,工程师,主要从事激光探测技术的研究。E-mail:jyfpure@163.com

收稿日期:2011-04-11;修订日期:2011-05-10

些发展动态,本文将结合国外的一些实际系统进行简要介绍。

2 激光测高技术的发展动态

2.1 多光束发射和探测技术

传统的激光测高仪一次发射一个激光光斑,探测后得到一个高度信息,要得到一个区域或全部地面的数据,激光要进行扫描或利用载体的运动来得到数据点云。这种方式在应用中存在着一些不足。一是工作效率较低,要测绘一片区域需大量的时间和工作周期;二是地面光斑的密度分布受载体的运行状态所决定,任何两个光斑之间没有固定的关系,各处的回波数据密度有可能不均匀。这在高平面分辨率测绘时是不利的。目前的一个发展趋势是多光束发射和接受,这不仅可以从相邻两个光斑的高度数据测量出地形的坡度、粗糙度等信息,更重要的是大大提高了测量工作效率,使任务的完成时间大为减少。多光束发射和接受的典型例子是美国航天局 NASA 研制的月球轨道激光测高仪 LOLA^[4]和正在研制的激光地表测绘仪 LIST。

LOLA 主要用于提供高精度的月面测绘地图,可以帮助选取载人或机器人的登月地点,还可以探测月面水冰的存在,它于 2009 年 6 月发射,至今已获取 5 亿以上的数据。LOLA 利用衍射光学元件(DOE)将一束激光分为 5 束光束,从 50 km 高度照射到月球表面,在月面上形成图 1 所示的光斑图样(图中的 10 个光斑是连续发射的 2 个激光脉冲所形成的图样)。接收光学系统将 5 个光斑成像于焦面上,焦面上的 5 根光纤与月面的 5 个光斑准直,分别将回波激光引导到 5 个探测器上,这样一发激光就可同时测得 5 个距离,大大提高了测量效率,还可获得月面坡度等信息。其多束发射多束接收的原理示意图如图 2 所示。

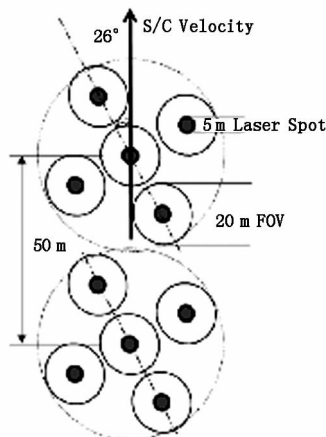


图 1 月面的多光束光斑图样

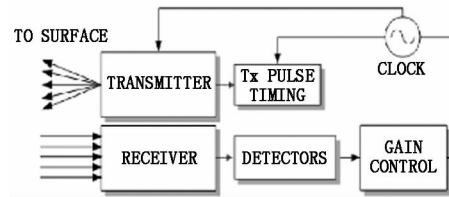


图 2 多束收发示意图

LIST 是正在研制的新一代星载测高仪,目的是快速高效、高精度地测量地球的地表模型,它预计于 2016 年发射。LIST 激光测高仪设计在星上安装 10 台二极管泵浦固体激光器,每台激光器所发出的一束激光用 DOE 分成 100 束激光束照射地面,这样一次就可发射 1000 束激光,探测器采用 1000 万像素的线列雪崩二极管,探测器的每个像素对应接收地面 1 个光斑的回波。每次发射在地面形成 5 km 的测量线,2 个光斑之间的距离为 5 m。这样就大大缩短了完成整个地球表面测绘任务的时间。其工作示意图如图 3 所示。

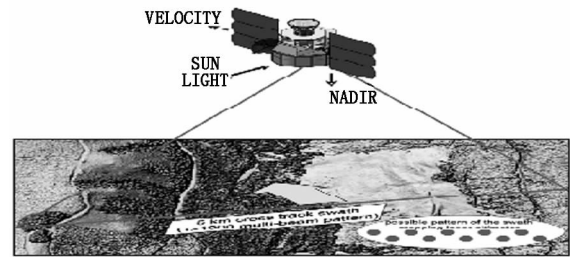


图 3 LIST 多光束测量示意图

2.2 单光子探测技术

已投入使用的绝大部分激光测高仪都采用能量探测方式测量激光反射回波,可探测的激光峰值功率一般在 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ 量级,这样低的探测灵敏度要求激光发射器的单脉冲能量足够大,一般要达到数十毫焦至数百毫焦,才能达到从航天器轨道上进行测高的要求,这不仅使激光发射器体积和质量都较大,而且可靠性也较低。为了提高探测灵敏度,更好地适应航天器体积质量和功耗等方面的需求,目前的一个发展趋势是采用单光子探测方式取代能量探测方式,其探测灵敏度可达到 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 瓦量级。用于航天器测高的单光子探测的典型系统是 NASA 正在研制的 ICESat-II 系统、JIMO 系统和上述 LIST 系统。

ICESat-II 是 2003 年发射的冰、云、地面高度测量卫星的第二代,用于测量冰层、云层和地面的高度,ICESat-II 计划于 2013 年发射,其上的激光高度计将取代第一代的地球科学激光高度计 GLAS^[5],接收方式由能量探测方式改为单光子探测方式,相

应的激光发射器由 50 mJ 大能量激光器改为 10 kHz 高重频低能量激光器,单脉冲能量仅为 0.4 mJ,单光子探测方式大大提高了接受灵敏度,从而使激光器单脉冲能量有了上百倍的减小,其好处是不仅数据量得到提高,还显著提高了激光器的可靠性。

JIMO^[6]的激光高度计系统参数与上述系统参数相类似,探测方式也采用单光子探测方式,用于测量木星的三颗卫星 Callisto, Ganymede 和 Europa 的地面高度,预计地面分辨率为数米,采用几瓦的激光功率和分米级的接收光学系统,在数月的时间内就可从 100 km 的轨道测得各颗卫星的地面全貌图。

LIST 采用的是具有准单光子探测能力的雪崩光电二极管 APD,该单光子探测器具有高灵敏度、低噪声、高量子效率和宽带宽等特点^[7],因此所需要的激光发射器单脉冲能量也很低,在 10 kHz 频率工作下,单脉冲能量只有 0.1 mJ。LIST 主要的系统技术参数如表 1 所示(除了星载型号外,还有一个先期研究的机载型号)。

表 1 LIST 主要的系统技术参数

LIST 需求	星载型号	机载型号
空间分辨率/m	5	5
高度/km	400	10
幅宽	5 km(1000 束光)	80 m(16 束光)
单束激光能量	100 μ J@10 kHz	100 μ J@10 kHz
线宽/ μ m	<20	<20
效率/%	>15	~15
探测器	1000 元 1 G 带宽	16 元 1 G 带宽
孔径	2 m 衍射限	0.13 m 衍射限

从这些未来的激光测高仪的工程设计或备选方案来看,单光子探测方式是激光测高仪的一个明显的发展趋势。

2.3 多回波测量功能

早期的激光测高仪如空间激光测高仪 SLA 和小行星激光测高仪 NEAR 的距离测量部分采用的是普通计数技术,单个激光脉冲只能探测一个距离回波,这在存在云层时就不能对地面进行测量,对有植被覆盖的地区也难以测量地表的高度。这对激光测高仪的应用产生了很大的限制,因此后来研制的激光测高仪都发展为具有多回波处理的功能,从一代 ICESat 的激光测高仪 GLAS 开始,激光测高仪的电路都具备了多回波测量功能。多回波测量实际上是生成回波信号强度与高度关系的波形文件,由波形文件可以测得云层、气溶胶的高度、厚度等信息,

还可测得植被高度、林冠下地形等信息。GLAS 测量云层和气溶胶的波形图如图 4 所示。

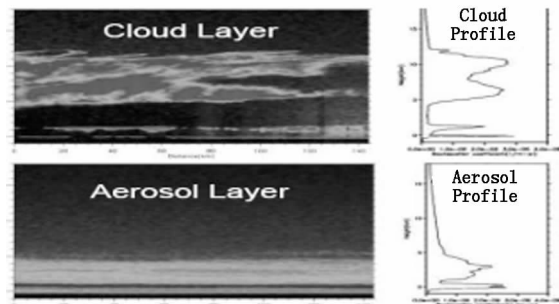


图 4 多回波测量波形图

2.4 多功能集成

激光测高仪除了进行高度的测量外,有时根据实际应用的需求,还要具备一些其他功能,如坡度、地面粗糙度、反射率等测量功能,有时甚至还要集成一些与测高功能相差甚远的功能,如精密定轨功能。一个典型的例子是上面介绍过的月球轨道器激光测高仪 LOLA 系统。

LOLA 的测高精度约为 10 cm,这显著优于过去的测高系统。然而 LOLA 数据产生的月面测绘模型和地学网格还受限于 LOLA 的轨道定轨精度。由于从地球上始终不能观测到月球的远地面,当月球轨道器运动到远地面时,月球轨道器不能用地面上的设备进行直接的跟踪测量,为了不使远地面的轨道定轨误差逐步积累,就需要在月球轨道器处于近地面时,要对月球轨道器的轨道进行精密定轨。因此,LOLA 除了对月面进行测高外,还集成了与地球测距站进行双站测距的功能,即既对月面进行测量,同时还对地球进行测距,这使其具备了对自身轨道进行精密定轨的功能。其所使用的激光转发器技术经进一步拓展,当对激光发射器进行编码后,还可具备地面测距站与月球轨道器的通讯功能。LOLA 的测高和定轨功能示意图如图 5 所示。

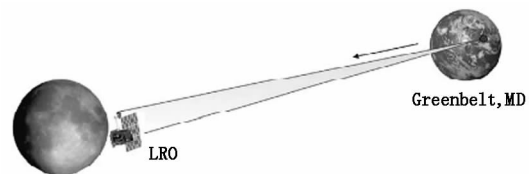


图 5 月球轨道器测高和定轨功能的同时实现

3 结束语

激光测高技术已具有近 20 年的发展历史,其技术已相当成熟,并已获得广泛应用,但随着激光技术的发展和应用需求的拓展,激光测高技术仍有很大的发展空间。通过对近期研究或正在研究的激光测

高设备的介绍和分析,总结了激光测高技术的几个典型发展趋势和技术特点,它们分别是:多光束发射和接收、单光子探测、多回波测量和多功能集成。这对开展新型激光测高技术的研究和设备的研制可以具有参考价值。

参考文献:

- [1] Smith D E, Zuber M T, Neumann G A, et al. The lunar orbiter laser altimeter (LOLA) on the lunar reconnaissance orbiter [C]. Eos Trans. AGU, 87 (52), Fall Meeting, Abstract: U41C - 0826.
- [2] J Degnan, J Mc Garry, T Zagwodzki, et al. Design and performance of an airborne multikilohertz, photon-counting microlaser altimeter [J]. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Annapolis, MD, 2001, XXXIV-3/W4, 9 - 16.
- [3] J Degnan. Photon-counting multikilohertz microlaser altimeters for airborne and spaceborne topographic measurements [J]. Journal of Geodynamics (Special Issue on Laser Altimetry), 2002; 503 - 549.
- [4] H Riris, et al. The lunar orbiter laser altimeter (LOLA) on NASA's lunar reconnaissance orbiter (LRO) mission [C] // Proc. Conf. Lasers Electro-Opt. / Int'l Quant. Electron. Conf., 2009; CFJ1.
- [5] J B Abshire, et al. Geoscience laser altimeter system (GLAS) for the ICES at mission: pre-launch performance [C]. 2003; CTUK4.
- [6] J Degnan. Photon-counting lidars for contiguous high resolution topographic mapping of planets and moons [C]. 2007 European Planetary Science Congress, Potsdam, Germany, August, 2007; 19 - 24.
- [7] H Riris, et al. Sensors and systems for space applications [C]. Proceedings of SPIE, 2007, 5, 6555; 65550I.