

文章编号: 1001-5078 (2006)增刊 -0742-07

激光主动遥感技术及其应用

王建宇, 洪光烈

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要:文中介绍了激光技术在空间卫星平台和机载平台中的主要应用和激光遥感技术的发展趋势。

关键词:激光雷达; 技术进展; 主动遥感

中图分类号: TN958.98

文献标识码: A

Technologies and Applications of Laser Active Remote Sensing

WANG Jian-yu, HONG Guang-lie

(Shanghai Institute of Technical Physics, CAS, Shanghai 200083, China)

Abstract: Laser is not only one kind of initiative remote sensing technology, it is also a tool to obtain the spatial and physical character of the earth surface. It has its usage which can never be replaced by the passivencss remote sensing technology. These days, with the rapid development of the technology, laser technology is being used in the remote sensing much more than before. The paper will introduce the application and the trend of using laser technology in space satellite platform and airborne platform.

Key words: lidar; technical progress; active remote sensing

激光雷达 (lidar) 是一种主动式的现代光学遥感设备, 是传统的无线电或微波雷达 (radar) 向光学频段的延伸。激光雷达技术既是一种主动遥感技术, 还可以同时获得地球表面的空间特征和物理特性, 具有被动光学遥感无法替代的作用。由于所用探测束波长的缩短和定向性的加强, 使激光雷达具有很高的空间、时间分辨能力和很高的探测灵敏度等优点, 被广泛地应用于对大气、海洋、陆地和其他目标的遥感探测中。

1 激光主动遥感关键技术进展

1) 光源的进展

CO₂ 激光器是最早用于激光雷达的光源, 输出功率大, 转换效率高, 连续输出功率为数十瓦至千瓦, 脉冲输出功率为数千瓦至 10⁵ 瓦, 电光效率 15% ~ 20%, 为适应空基雷达的需要, 目前 CO₂ 激光器向高可靠、小型化方向发展, 进展可喜。

Nd:YAG 是目前激光雷达中使用最多的激光

器, 这是一种脉冲激光器, 如果探测地物反射回波, 激光器工作在 1064nm 或 1053nm 波长; 如果探测地物荧光回波或用于水下探测, 激光器工作在 532nm 或 527nm 波长。主要以二极管泵浦为发展主流。

其他的激光器有: 钛宝石激光器因具有波长调谐功能, 在激光雷达中得到新的应用; 半导体激光器, 像 GaAs, 因为它体积小、重量轻、效率高也很受重视, 其缺点是光束质量较差, 功率有待提高; 掺钕

作者简介: 王建宇 (1959 -), 男, 研究员, 博士学位, 博士生导师, 现在中科院上海技术物理研究所从事光电遥感系统、机载和星载光电遥感仪器、信息获取与处理技术的研究; 近年来, 他承担并完成了实用型模块化机载成像光谱仪和机载高空间分辨率与高光谱分辨率集成系统, 在国内外的各种遥感试验中得到广泛的应用; 目前正在负责研制环境、探月等卫星的光电遥感有效载荷; 曾先后获国家科技进步二、三等奖各共 3 项, 中科院、上海市科技进步奖共 6 项; 申请发明专利 12 项; 发表研究论文 30 余篇。E-mail: jwyang@mail.sip.ac.cn

收稿日期: 2006-07-04

光纤激光器波长 1.5~1.6μm,也是很有吸引力的,比如多个光纤激光器输出形成光束阵列(不必使用分束器就能实现推帚式扫描);NASA的学者研究二极管泵浦的 Ho、Tm YLF 波长 2.0μm 激光器,这种光源对人眼更安全,大气散射更小,被称为“未来之光”。

2)探测器的进展

为适应光源的变革,除了经典的光电倍增管,探测器的研究也有新的进展。如果激光是 1064nm (1047nm)或 532nm (523nm),探测器为 Si/APD,这是最成熟的器件;如果激光波长 1.5~1.6μm,探测器选 InGaAs/APD (或 PN);如果激光波长 2.0μm,探测器选 InGaAsSb/APD。这些器件由单元器件发展到线阵和面阵器件;工作模式由线性模式发展到 Geiger 模式。国际上主要的研究机构有 Perkin Elmer 公司和日本滨松光子公司。ICCD 已经直接用于激光雷达回波探测。InGaAs 和 HgCdTe 的焦平面器件被新型的激光成像遥感系统所采用。

2 激光主动遥感主要应用领域

2.1 距离的激光遥测

最成熟和最经典的测距方法是脉冲测距和相位测距^[1-2]。

脉冲测距是通过直接测量激光脉冲的往返传播时间进行测距的。激光脉冲的往返传播时间由距离计数器测量。距离计数器的开门信号为激光主波采样信号,对应的关门信号为激光回波信号,激光脉冲往返时间根据计数器在开、关门信号之间的数值求得。

相位测距通过强度调制的连续光波在往返传播过程中相位变化来测量光束的往返传播时间,其计算公式为:

$$R = \frac{c}{2} \frac{\Phi}{2\pi f} = \frac{\lambda}{2} \frac{\Phi}{2\pi}$$

(1)

式中,Φ 为调制光波的相位变化 (rad);f 为调制频率 (Hz);R 为目标至参考点距离 (m);c 为光速 (m/s);λ 为调制波波长 (m)。只要测出发射和接收光波的相位差,即可得到目标距离。因此,相位测距可理解为以调制光波半波长为“测量尺度”的距离测量方法。

近年来,激光雷达借鉴了微波雷达的一些信号处理的方法,发展了脉冲压缩和连续波调频等激光调制与信号处理的体制测距。

2.2 激光雷达大气遥感

相对而言,激光雷达最适合用于对大气的探测与研究。用于大气遥感的激光雷达是历史上出现最早的激光雷达。表 1 给出部分星载激光雷达系统测高的情况;表 2 给出了激光与大气粒子相互作用的效应,大气雷达正是利用这些效应来工作的。

表 1 部分星载激光雷达系统测高的情况^[3-4]:

系统名称	Clementine	MOLA	NLR	LOLA	LALT	MOP
观测对象	月球	火星	近地小行星	月球	月球	水星
平台	卫星	火星观察者	近地小行星交会	月球观察者	卫星	卫星
发射单位	LLNL 实验室	NASA	NASA	NASA	日本	ESA
发射时间	1994	1996	1996	1998	2006	2007
使命周期/年	3	3	3	2	1	3
轨道高度/km	640	400	50 - 150	175		400-1000
激光波长/nm	532/1064	1064	1064	1064	1064	1064
激光脉冲能量/mJ	171@1064nm 9@532nm	48	15.6	10	100	180
激光脉冲重复率/Hz	1/8	10	1/8, 1, 2, 8	40	2	10
激光脉冲宽度/ns	<10	8	15	5	15	10
望远镜口径/m	0.15 (共用)	0.5	0.089	0.6	0.11	(共用)
质量/kg	1.24	25.85	4.9			6.5
功耗/W	6.8	34.2	15.1			
绝对精度/m	40	<10	<6			

表 2 激光与大气介质相互作用的典型截面数值及相应可探测大气成分 (λ₀ 为入射波长,λ_r 为散射波长)

作用过程	介质类型	波长关系	作用截面 / (cm ² / sr)	可探测大气成份
Rayleigh 散射	分子	λ _r = λ ₀	10 ⁻²⁷	大气密度、温度
Mie 散射	气溶胶	λ _r = λ ₀	10 ⁻²⁶ - 10 ⁻⁸	气溶胶、烟羽、云等
Raman 散射	分子	λ _r ≠ λ ₀	10 ⁻³⁰ (非共振)	温度、湿度 (H ₂ O) 等
共振散射	原子、分子	λ _r = λ ₀	10 ⁻²³ - 10 ⁻¹⁴	高层金属原子和离子 Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ⁺ 、Li 等
荧光散射	分子	λ _r ≠ λ ₀	10 ⁻²⁵ - 10 ⁻¹⁶	污染气体 (SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , I ₂)
吸收效应	原子、分子	λ _r = λ ₀	10 ⁻²¹ - 10 ⁻¹⁴	痕量气体 (O ₃ , SO ₂ , NO ₂) 等
多普勒效应	原子、分子	λ _r ≠ λ ₀		风速风向

(1) Mie 散射激光雷达和气溶胶探测^[5]

大气中的各种固态和液态气溶胶粒子,包括尘埃、烟雾、云层等与激光的相互作用主要表现为 Mie 散射。Mie 散射的特点是散射的辐射波长与入射波长相同,散射粒子的尺寸与入射激光波长相近或比入射波长更大。散射过程中,粒子将入射光向四周的散射并不是均匀的,粒子越大,前向散射的光越多,而后向散射光越少。Mie 散射激光雷达是一种用于探测 30km 以下低空大气中的尘埃、云雾等气溶胶粒子的激光雷达。

1992 年出现的一种由美国 NASA 研制的微脉冲激光雷达是对流层 Mie 散射激光雷达的新发展。该激光雷达不仅实现了小型化、自动化、高可靠,而且达到了人眼安全标准,缺点是不具备扫描功能。

(2) Rayleigh 散射激光雷达和中层大气探测

大气分子对激光束的散射截面与波长的四次方成反比,称之为 Rayleigh 散射,散射波长与 Mie 散射相同。Rayleigh 散射激光雷达主要用于中、高层大气的探测。

Rayleigh 散射激光雷达技术特点:大的激光雷达配置、短的工作波长、小的接收视场和光束发散、严格的发射和接收准直、光子计数检测方式、低空强回波干扰抑制、检测动态范围扩展等。

Rayleigh 散射激光雷达主要应用:分子密度廓线的探测;温度廓线的探测;中层大气重力波的探测。

(3) Raman 激光雷达和大气组分探测

相对于 Mie 散射和 Rayleigh 散射,Raman 散射强度弱很多,Raman 散射的波长不同于发射波长,与散射气体的种类有关,因此它可以用来区分成份。

Raman 激光雷达技术特点:很强的 Mie-Rayleigh 散射抑制,减小其对回波的干扰;高的光谱分辨能力,以利于和其他气体区分出来。

Raman 激光雷达主要用途:湿度廓线(接收水汽振动 Raman 散射回波)的探测;温度廓线的探测(接收氧气和氮气转动 Raman 散射回波);气压和大气密度、近距离大气污染气体的探测等。

(4) 差分吸收激光雷达和大气微量组分探测

激光脉冲在大气层中行进,一方面被气溶胶和气体分子散射;另一方面还被大气物质吸收。在差分吸收探测系统中,既利用气溶胶和气体分子散射而形成的回波,又利用气体吸收而获得被测气体的信息。其吸收信号的强弱反映了被测气体浓度的大

小。差分吸收激光雷达中采用两束波长相近的发射激光束,其中一波长选在被测气体吸收谱峰的中心,吸收较强;另一波长选在吸收谱峰的外边,使其受到的吸收较小,比较两种回波的差异,通过数值分析得到被测气体的浓度。

差分吸收激光雷达技术特点:双波长发射,双波长接收。

差分吸收激光雷达主要用途:目前国际上已有基于钛宝石激光器和染料激光器的差分吸收雷达探测 SO_2 、 NO_2 、 O_3 等元素,以及基于 Ho, Tm YLF 2.0 μm 激光器探测 CO_2 气体。该雷达在军事上可用于探测生化毒剂。

2.3 激光测风雷达

(1) 相干多普勒(光外差)激光雷达

采用种子注入、半导体激光泵浦 Tm, Ho YLF 激光器,工作波长 2.05 μm ,探测器为 InGaAsSb 四元雪崩二极管,相干外差鉴频。

气溶胶的后向散射光频率为 ν_s ,作为参考信号的本振光频率为 ν_L (即发射光频率),气溶胶的后向散射光与本振光同时投射到光电二极管表面,产生相干叠加(混频),然后输出差频为 $\nu_s - \nu_L$ 的射频电信号及直流分量,经过中频放大器和鉴频器,最后获得所需的多普勒频移 $\Delta\nu$ 。

(2) 非相干多普勒(光谱分析)激光雷达

直接探测采用种子注入、半导体激光泵浦三倍频 355nm Nd:YAG 激光器。接收到的回波采用双 F-P 干涉仪的双边缘方法确定 Rayleigh 散射频移,探测器采用光电倍增管,并且比较两个通道信号的大小;采用条纹图像检测技术确定接收到的回波 Mie 散射多普勒频移,条纹图像技术通过多通道 CCD 探测器采样接收信号的有用光谱间隔,通过计算光谱峰偏移获取多普勒频移。

i) 双边缘技术

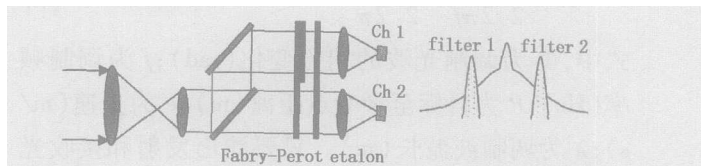


图 1 F-P 干涉仪结构

两个 F-P 干涉仪透过率曲线的中心频率位于 Rayleigh 散射谱的两翼,在有多普勒频移时,落入两个信号通道的强度相同;在有多普勒频移时,两个通道的信号强度发生变化,一个变大,一个变小,比较它们的大小,将两个通道信号之差除以两个通道之

和就可以得到多普勒频移量。为了得到上述的频谱结构,可以采用如图 1所示的 F - P干涉仪结构。F - P干涉仪的一个平板上镀同种厚度的薄膜,另一个平板上镀两种厚度的薄膜,它们的腔长存在着一个微小的差别,以形成中心频率上的差异,然后在光出射端,将这两路光束分别照射不同的探测器。由于两个平板固定在一个极板上,消除了由于振动和热效应引起的两个通道中心频率间隔的漂移。

ii)干涉条纹图像技术

Fizeau干涉仪也由两块光学平板组成,但彼此之间以一定的微小楔角分开,形成楔形空气隙。入射光在通过两个平板间楔形空气隙后,沿楔角方向产生干涉条纹,如图 2所示, Fizeau楔角干涉条纹强度分布可以采用函数描述:

$$A(\phi) = \frac{(1-R)^2}{1-2R\cos(\phi)+R^2} \quad (2)$$

式中, R 为平板内表面的反射率; ϕ 为相位因子,它与平板间隔 d 及入射光频率 ν 之间的关系为 $\phi = 4\pi d\nu/c$,可见干涉条纹的空间位置与回波光频率有关。当发生多普勒频率移动时,干涉条纹的空间位置随之发生移动,可由干涉条纹移动量反演风速。干涉仪要放置在恒温装置中。

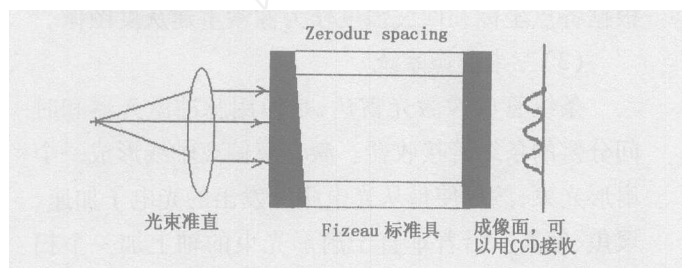


图 2 Fizeau干涉条纹图像技术

欧空局 (ESA)已经全面启动全球第一台星载测风激光雷达计划 (ADM-Aeolus计划),计划 2007年发射,ESA的直接探测激光雷达准备采用条纹图像技术,采用三倍频的 Nd:YAG平行平面 FP标准具和 Si-CCD探测器^[6]。日本邮政省的 CRL 在研究放在空间站上的相干激光雷达 JEM/CDL (Japanese Experiment Module/Coherent Doppler Lidar)。NASA最近的趋向是采用混合技术测量全球风场,即利用相干技术测量低空大气风场,利用直接探测技术测量中高空大气风场,混合激光雷达测量大气风场对激光器件和接收光学的要求将更加严格。

2.4 海洋激光雷达及其在海洋探测中的应用

海洋激光探测的物理机制,一般基于海水瑞利

散射、米散射、拉曼散射等。

(1)激光测量浅海深度

水深测量一般基于浅海、岛礁或者船只无法到达的海域。机载海洋激光雷达可以快速扫描,获得浅海地貌,测量效率远远大于声纳测量。另外浅海水深测量与水下目标探测密切相关,利用水深测量技术可以对水下目标 (如潜艇、水雷等)进行探测。假如海表和海底返回脉冲的时间间隔为 Δt ,则水深就可表示为 $h = \frac{\Delta t}{2n}c$,海表脉冲返回信号通常利用红外光精确定位。一般利用 Nd:YAG的 1.064μm 激光测量,水深获取的关键是精确测量海底目标的脉冲 532nm 返回信号^[7]。提高测量精度的关键技术除了激光发射功率、光学接收效率、视场角匹配外,还要通过消除海水中强烈的海水后向散射以解决不同水质对测量的影响,通过对信号的动态范围进行压缩以探测来自水下微弱的激光回波,采用窄带滤光片滤除背景光以减少太阳背景等杂散光对测量造成的影响。

(2)海洋 Raman激光雷达^[8]

水的 O-H键 Raman谱随温度而变化或发生频移,在此基础上可通过测量海水激光 Raman散射谱来测量海水温度。激光 Raman散射测量海水温度的物理基础可概述为:①水是由带氢键的族团,即大分子和没有氢键的单分子组成;②这两种分子结构的比例是海水温度的函数;③大分子与单分子 O-H键 Raman频移是不同的;④通过 Raman频移谱可测量水中大分子和单分子浓度关系,可反演海水温度。

利用激光 Raman散射谱分析法提取海水温度信息主要采用以下手段:①双色比法;②解卷积法;③函数拟合法。

(3)Brillouin散射激光测量海洋声速剖面^[8]

声场预报对于海军具有直接的指导意义,对确定潜艇运动和探测潜艇位置具有重要作用,实时海洋边界层声速抛面的测量对研究海洋混合层和内波过程有着重要作用,可以了解海洋混合层物理参数的季节性变化、动力参数变化。

Brillouin散射是一种具有频率偏移的非弹性散射,Brillouin散射频移可表示为:

$$\nu_B = \pm \frac{2n(s, t)}{\lambda} V_A(S, T, P) \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3)$$

式中, n 为海水折射率; V_A 为海中声速; λ 为入射激光波长; θ 为散射角。Brillouin散射频率一般在 7~

8GHz以内,带宽 500MHz。

对 Brillouin 散射频移的测量,一般借助于 F - P 干涉仪,但 F - P 干涉仪受接收视场角较小,且对环境影响敏感等限制,影响了 Brillouin 散射频移的测量精度。Brillouin 散射也可以用来测盐度。

(4)海洋 Rayleigh 激光雷达^[8]

散射实质上是水分子本身的散射,水分子处于随机热运动状态,不同运动速度的水分子,其散射光的多普勒频移也不尽相同。这种水分子随机运动产生的散射光,其总的效果即是多普勒展宽,温度越高,分子平均热运动速度越快,多普勒展宽越多,即

$$\Delta v_d = 7.16 \times 10^{-7} v_0 \sqrt{\frac{T}{NM}} \tag{4}$$

式中,Δv_d和 T 分别表示频谱展宽和海水温度。

通过高温原子滤波器的光信号与通过低温原子滤波器的光信号均与 Rayleigh 散射的光谱积分成正比,其光谱面积可近似看作接收信号的光子数,采用两信号面积的比值可以获得海水温度。

在海洋激光遥感系统中,目前发展最成熟的是海洋测深系统,如 2003 年 Optech 公司研制生产的增强型激光测深系统 SHOALS - 1000。目前的 SHOALS 系统的测量精度,已完全能够达到《国际海道测量标准》规定的一级测量精度指标要求,测量速率为 1000Hz,测量深度为 0.1~50m,扫描宽度为航行高度的 0.85 倍。

表 3 国际上主要的机载激光测深系统技术指标

	Hawkeye (1994)	SHOALS (1993)	SHOALS- 1000 (2003)	LADS (1993)	LADSMKII (1998)
最大深度 /m	40	40	KD = 3 ^{*1}	40	70
最浅深度 /m	<1	<1	<1	<2	0.5
垂直精度	±0.3m	±0.15m	HO, order 1 ^{*2}	±0.3m	HO, order 1
水平精度	±3m	±3m	HO, order 1 ^{*3}	±5m	5m, CEP95%
测绘速率 /Hz	200	200	1000	168	900
飞行速度	100knots	30m/s	125 - 175knots	145knots	70m/s
飞行高度 /m	50 - 800	200 - 1000	200 - 400	500	500
扫描宽度	0.05 - 0.58 倍高度	0.05 - 0.58 倍高度	0.05 - 0.58 倍高度	240m	240m
测点密度 /m	3 - 15	3 - 15	2 × 2, 3 × 3, 4 × 4, 5 × 5	10	2 × 2, 3 × 3, 4 × 4, 5 × 5

其他类型的海洋激光遥感系统离实用还有明显距离。表 3 列出国际上主要的机载激光雷达测深系

统主要技术指标。

2.5 成像激光雷达

(1)凝视成像与距离选通激光雷达

如果使用扩束激光(宽波束)发射光学天线,使目标均匀照射,采用 CCD 相机或焦平面阵列探测器接收,很容易获得目标的图像,而目标的距离通过激光调制波的相位来测量,即构成非扫描成像激光雷达。在距离选通中,照像机的快门打开的时间对于照射物体的激光发射时间是延时的,并且在很短的时间内打开,在这段时间内激光从物体反射回来。选通开关仅对激光脉冲回波光到达接收器时才打开,距离选通排除了大气后向散射光。这种方法,在于摄取到达相机的从物体反射回的光,并能屏蔽返回光中的大气散射光子^[10]。距离选通的成像系统,采用脉冲激光器和能使像增强的选通 CCD 器件或增强型焦平面器件。

(2)同步扫描激光成像系统

激光器输出光束(窄波束)在靶面上以一维或二维方式扫描。采用一维扫描方式,通过平台的运动获得二维信息,探测器是线阵器件。在光栅扫描方式中,光束沿二维扫描,探测器采用面阵器件。再根据各点坐标和回波强度作为像素重建灰度图像。

(3)三维成像系统

条纹管成像激光雷达,是使用脉冲激光器和时间分辨的条纹管接收器。激光束偏离轴线形成一个扇形光束,然后使得从光电阴极发出的光电子加速、聚焦、偏离。沿着垂直于扇形光束的轴上加一个扫描电压来及时控制光束,这样就能得到每一个激光脉冲的距离 - 方位图像,采用传统的 CCD 技术对这些距离 - 方位图像进行数字存储,使系统的脉冲重复频率与平台的前进速度同步。

推帚式激光成像,激光束被分束器分成多束(或叫阵列激光束),由飞行器实现一维扫描,由阵列激光束和阵列探测器本身结构实现另外一维扫描,这种方案,要采用激光分束器和多路回波并行接收技术。没有运动的扫描部件,其机械和光学设计更简单,机械失效的危险更小;推帚式激光扫描成像系统可在提高激光单脉冲能量的同时,使激光器重复频率大大降低;同时可以根据需要设计多种地面采样图案,因而可以实现遥感时的非均匀测量,这对未来的自适应对地观测三维成像中特别有用。并且

扫帚式激光雷达成像技术特别适合与推帚式光电、光谱成像等技术的匹配和图像的配准。

目前成像激光遥感系统发展较快,品种较多,大多在机载航空领域内使用。比如美国的 Optech 公司 AL TM3100EA,飞行高度 80~3500m,最大扫描频率 70Hz,发射激光重复频率 33~100kHz,最大偏转 $\pm 25^\circ$,水平精度 $1/5500 \times$ 高度,在 1000m、2000m、3000m 高度的测距精度分别为 10cm、15cm、20cm。主要用来地形测绘,已经商业化销售多台。

2.6 激光雷达新体制

(1)相控阵激光雷达是通过一组激光束的相位分别进行控制和波束合成,实现无机械扫描的一种体制。调节从各个相控单元(移相器)辐射出的光波之间的相位关系,使其在设定方向上彼此同相,产生相互加强的干涉,干涉的结果是在该方向上产生一束高强度光束,而在其他方向上从各相控单元射出的光波都不满足彼此同相的条件,干涉的结果彼此相抵消。相控单元在计算机的控制下,可使一束或多束高强度光束的指向按设计的程序实现随机空域扫描。

美国自 20 世纪 70 年代初开始研究激光相控阵技术,并首次用钽酸锂晶体制成移相器阵列(46 元),实现一维相控阵以来,并制成以液晶为基础的二维光学相控阵样机,阵面 $4\text{cm} \times 4\text{cm}$,包括 1536 个移相器单元。其技术难题主要是制造工艺不成熟、光束偏转范围还比较小(几度)、控制效率低(10%)^[12]。但相控阵技术的突破将对高性能激光雷达乃至光电传感器系统产生革命性影响。

(2)合成孔径激光雷达成像系统,一般激光发射源与接收装置在一个运动平台上。在平台的运动过程中,在某个位置用小孔径天线发射光束对目标进行照射,并对目标回波信号进行采样,探测器接收来自目标的散射光的强度和相位信息,完毕后移动到下一个位置再进行同样的探测,如此进行下去直到平台移动整个合成孔径长度,得到一组回波数据。通过对回波进行综合数据处理,可以得到高分辨率目标图像。相位信息一般采用外差探测。回波信号有一定的时间延时包含了距离信息,相对于参考光有一个附加相位,在探测器上参考波和回波混频得到一个输出拍频脉冲电流,如果在合成孔径长度内发射 M 个激光脉冲,实际探测器输出 M 个拍频电

流,每个拍频与距离单元相对应。对这些采样数据进行离散傅立叶变换,并进行相应的数据处理,便可得到目标区域的高分辨率图像^[13]。

国际上从事这项研究的机构有:Naval Research Laboratory 和 Lincoln Laboratory 以及 Communications Research Laboratory,合成孔径激光雷达目前还不够成熟,工程上还需在以下技术上继续努力:①激光器的时间相干性要求很高(激光输出频谱很纯);②运载平台的高稳定性,微小的位置偏差或振动造成严重的相位差;③更有效的成像算法,对各种由系统不稳定性带来的误差进行补偿;④如何减小大气对光波相干性的干扰,减小散斑噪声。

3 激光主动遥感的发展趋势

1)进一步借鉴微波雷达遥感的概念、方法

相对于激光雷达而言,微波雷达的发展更成熟、使用面更广,因此,微波雷达的概念、信号处理的方法对激光雷达的发展具有借鉴作用,如相控阵、合成孔径等概念就直接取之于微波雷达;连续波调频^[14]和脉冲压缩等信号调制及解调的方法正在被激光雷达所采用;甚至在海洋激光雷达中,发射时将微波信号加载到激光上,接收到回波后在通过光电器件变成微波信号加以处理。总之,未来微波雷达的技术和思路将进一步渗透到激光遥感领域。

2)与其他遥感手段的配合、融合,发挥遥感系统的综合优势

激光主动遥感与微波遥感、红外遥感之间相比各有优势,微波波束的发散角大,激光发散角小,因此,激光的精度和角分辨率高,而微波的搜索能力强,微波雷达的电磁干扰敏感,探测地空目标时,回波信号就被地面的杂波所淹没,激光雷达电磁抗干扰能力强,它们之间存在着互补性。激光高度计就和微波 SAR 合在一起用^[15];未来的预警系统倾向于激光主动遥感和红外系统组合使用,先用红外系统大面积搜索,一旦发现可疑目标则通知激光雷达跟踪、测速、测距,如夜晚没有光源照明,热红外成像不能将目标和环境区分开来,如果和激光主动遥感相配合则可以很好地解决这一问题。

3)新技术和新器件不断面世,将不断改善激光雷达的性能

在激光雷达领域,许多新技术在不断出现和进步,如光纤激光器功率的提高,阵列半导体激光器性

能的提高,激光稳频技术的改进; InGaAs 和 HgCdTe 雪崩二极管阵列的研制成功等;分辨率更高的滤光片和分光器件的使用等将不同程度地改善激光雷达的性能;还有光子计数和距离门等技术都会对激光雷达的发展产生重大影响。

4) 单台遥感设备功能综合化

激光雷达单台设备只测一个参数的情况在将来会越来越少,往往是共用光源与光学系统,尽量从散射和反射回波中获得更多信息,形成带有一定综合性的遥感设备。2001 年发射的 ICESAT 卫星上的 GLAS 激光雷达,是 NASA 测量海冰而设计的主动传感器,主要测量两极地区的冰层,建立高精度的陆地数字高程,同时获得全球尺度的云和气溶胶的垂直剖面,还能进行海表和海洋次表层测量。设想中的导弹预警系统,激光雷达跟踪目标的同时,不断测距和多普勒测速;2005 年德国科学家 Andreas 等提出四维综合性激光大气雷达,同时用 Mie 散射测气溶胶、Rotational Raman 散射测温度以及差分吸收测水汽。

参考文献:

- [1] 戴永江. 激光雷达原理 [M]. 北京:国防工业出版社, 2002
- [2] 何照才,胡保安. 光学测量系统 [M]. 北京:国防工业出版社, 2002
- [3] 李松. 星载激光测高仪发展现状综述 [J]. 光学与光电技术, 2004, 2(6).
- [4] David M Tratt, Mark C Abrams. Progress in laser sources for lidar application: laser sources for 3D imaging remote sensing [A]. Proc of SPIE, 2004, 5653: 241 - 248
- [5] Shane D Mayor, Scott M Spuler. Raman-shifted eye-safe aerosol lidar [J]. Applied Optics, 2004, 43 (19): 3915 - 3924
- [6] Marc Schillinger, Didier Morancas, Alain Culoma, et al. ALADIN: the LIDAR instrument for the AEOLUS mission [A]. Proceeding of SPIE, 2003, 4881: 40 - 51.
- [7] Georges R Fournier, Denis Bonnier, J Luc Forand, et al. Range-gated underwater laser imaging system [J]. Optical Engineering, 1993, 32 (9): 2185 - 2189.
- [8] 阎吉祥, 龚顺生, 刘智生. 环境监测激光雷达 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [9] Petter Weibring, Thomas Johansson, Hans Edner, et al. Fluorescence lidar imaging of historical monuments [J]. Applied Optics, 2001, 40 (33): 6111 - 6119.
- [10] Jen Busck, Henning Heiselberg. Gated viewed and high accuracy three-dimensional laser, Applied Optics, 2004, 43, (24), 4705 - 4710.
- [11] Richard M Marino, Timothy Stephens, Robert E Hatch, et al. A compact 3D imaging laser radar system using Geiger-mode APD arrays: system and measurements [A]. Proc of SPIE, 2003, 5086: 1 - 15.
- [12] Paul F, et al. Optical phased array technology [J]. Proceedings of the IEEE, 1996, 84 (2): 268 - 298.
- [13] THOMAS J K. Synthetic aperture radar for planetary sensing [A]. // in Earth Observing Systems VIII [C]. 2003, 5151: 44 - 51.
- [14] BRIAN C Redman, Barry Stann, William Ruff, et al. Anti-ship missile tracking with chirped amplitude modulation lidar [A]. Proceeding of SPIE, 2004. 5413: 113 - 124.
- [15] R K Rangey, C J Leuschen, R D Chapman. LaRA-2002: Results of the airborne laser and radar altimeter campaign over Greenland, Svalbard, and arctic sea ice, IEEE, 2003, 4392 - 4394.

十一所承担的重大外事项目 ——伽利略计划

总投资达 35 亿欧元的伽利略计划是欧洲自主的、独立的民用全球卫星导航系统。目前世界上正在运行的全球定位系统由美国研发并控制,伽利略系统 30 颗导航卫星和相关地面设备将在 2008 年部署完毕。2005 年,伽利略计划,即欧洲的 GPS 计划当中,我国政府以承担项目为主要方式,向该计划投资 2 亿欧元。我所的激光角反射器项目和卫星激光测距项目顺利中标,使我所成为迄今为止中欧伽利略计划的 11 个合同当中,唯一的一家承担两个项目的单位。这也是我所产品首次通过中欧政府间合作出口欧盟。从而使我们的市场从传统的第三世界国家向发达国家市场迈进坚实的一步。

(十一所外事处李宏斌提供)