

对地观测激光成像的回波阵列探测技术

陈育伟, 张立, 胡以华, 张海洪, 舒嵘, 王建宇

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要:激光回波阵列探测技术由于其低耗高速等特点,正在受到研究者日益关注.单元器件阵列化和线阵电路是两种投入实际使用的技术.文章介绍了此类系统设计参数的选择方法.提出了推帚式激光三维成像系统组成方案,以此作为依据设计了原型系统,并对设计中应该注意的重点问题进行了研究.

关键词:对地观测;激光成像;阵列探测;APD

中图分类号:TG113 **文献标识码:**A

ARRAY DETECTION TECHNOLOGY OF ECHO ON EARTH OBSERVATION LASER IMAGER

CHEN Yu-Wei, ZHANG Li, HU Yi-Hua, ZHANG Hai-Hong, SHU Rong, WANG Jian-Yu
(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 200083, China)

Abstract: Laser echo array detection technology has the characteristics of high speed and low-power-consumption, which has been paid more and more attention. Arraying the single component and array component are the main applied technology. The method to choose the parameters of such system was introduced. A prototype system was designed. And some important questions about such application were discussed.

Key words: earth observation; laser image; array detection; APD

引言

近十多年以来,对地观测激光成像系统在地球遥感中变的日益重要起来,传统的遥感手段结合激光技术能够同时给出目标的三维位置和地面影像一体化信息,是对地观测技术的一个前沿发展方向^[3-6].其原理是通过测量激光发射与接收的时间间隔或者相位变化和回波的大小从而测得平台到地表面点的距离以及地物对特定波段激光的反射率.传统的光机扫描型系统由飞行器实现一维的扫描,由扫描机构完成另一维扫描.此系统的最大优势在于扫描角度比较大,但由于引入了扫描机构,就带来了额外的质量、体积、和功耗,为了达到较高地面覆盖率,对激光器的重复频率要求很高.随着技术的不断进步,线阵、面阵等阵列接收多元分束激光技术已经成为目前的发展方向.由此诞生出一种新型推帚式技术,该技术由飞行器实现一维扫描,由阵列探测

器本身结构实现另外一维扫描,阵列探测技术是这类系统的核心.因此正日益受到研究者们的关注.

1 激光回波阵列探测技术现状

激光回波阵列探测技术也即是多路激光回波并行接收技术,具体来说就是:在激光回波接收系统中采用光学和电子学的方式对多路激光光束回波的接收以及并行高速处理.

在采用阵列探测技术时,在激光出射端,必须采用并行发射分束装置将激光分束成系统所需要的采样图案,常用的并行发射分束装置可以采用衍射透射光栅分光,光纤分光,反射镜组分光,激光二级管分光,棱镜分光等方法.

在激光回波阵列接收端,投入实用的并行接收的方法主要有两种,一种是采用单元器件的线阵化或者面阵化,一种是采用线阵电路.

最简单的方法是使用单元接收模块将之线阵化

或者面阵化,也即是将传统的单点激光回波探测电路组合成为与出射采样图案匹配的线阵或者面阵电路.对于元数较少的系统来说,不啻为一种简单易行高效的方法.同样可以采用单元器件灵活设计成为与发射系统匹配的多元接收系统,以实现符合特殊需要的主动遥感系统,这是这类系统相对于线阵电路的优势所在.典型的应用是 863 机载高空间分辨力、高光谱分辨力多维集成遥感系统中采用的 3 元激光测距接收电路.系统采用 3 个单元接收电路组成一个线阵接收模块,对机下 3 点进行激光测距.

另一个多元接收的方法是使用线阵 APD 探测器,通过接收地面亦呈直线的激光脚印从而达到推帚式的扫描效果.这种方式也是目前国外研究者密切注意的一种回波阵列探测技术. NASA 研制的 MPLAB 就采用了这种接收技术^[1],通过模块化的方法,已经成功完成 128 元线列 APD 接收系统,同时其接受视场较小的缺陷也可以通过模块化的方式改进,以达到比较大的刈宽.在 863 机载推帚式激光三维成像系统中采用了 25 元的 APD 线阵探测器作为阵列接收器件.对 25 路信号同时进行处理,得到 25 元的距离测量值与回波峰值.地面处理以后可以得到地物的高程图和灰度图.

使用面阵 APD 芯片^[7]和光纤焦平面面阵接收也是目前在海外发展比较快的两种激光回波阵列探测技术,前者利用 APD 面阵和处理电路做成一个芯片,大大减小了系统的外围电路,体积和功耗,后者采用光纤焦平面技术将接收望远镜得到的多路回波使用光纤传递到单元 APD 的光敏面上,据文献^[2]报道,该原型系统已经完成了 25 × 25 元的 APD 面阵.而且采用光纤这一技术,不仅能够进行光线的传输,而且还能进行光束变换^[2].所有这些新技术的运用都将极大地拓展激光主动遥感的应用前景.

2 激光回波阵列探测系统的基本参数选择

在进行系统设计时,若各个 APD 单元的接收视场为 β ,若飞行高度为 H ,则天底点地面矩形脚印的边长为:

$$d_{res} = \beta H, \quad (1)$$

若 n 个接收单元之间不存在接收死区,那么可以近似认为地面的刈宽为:

$$D = n d_{res}, \quad (2)$$

若存在死区,则应该加上死区在地面的脚印.

当需要覆盖平台下整个刈宽的地面,激光的重复频率 f_p 必须满足一定的速高比:

$$f_p = \frac{V \cdot D}{d_{res}^2 n} = \frac{V \cdot D}{\beta^2 H^2 n} \quad (3)$$

以上才能保证完全覆盖,当然当重复频率不够时,可以采用差值的或者其它方法进行近似,公式中 V 为飞行速度, d_{res}^2 为地面矩形脚印的大小,则需要的激光出射的峰值功率 P_T 为

$$P_T = \frac{P_{av}}{n t_p f_p} = \frac{P_{av} d_{res}^2}{V S t_p} \quad (4)$$

其中 P_{av} 为激光器的平均功率, t_p 为激光脉冲宽度.这个指标对于系统的性能十分重要,因为系统的最大测程往往受到其出射的峰值功率所限,因此设计系统时应根据最大测程公式选择激光器的各项指标:

$$Z_{max} = \sqrt{\frac{P_T S_r T_T T_R A(z) \sigma F}{\pi P_{min}}} \quad (5)$$

Z_{max} : 最大测程; P_T : 发射功率; S_r : 接收面积; T_T : 发射系统光学透过率; T_R : 接收系统光学透过率; $A(z)$: 双程大气传输透过率; σ : 地面目标反射率; F 为滤光片的对应激光波长透过率; P_{min} : 最小可测输入功率.由公式可见如果其他条件不变,功率与最大测程呈平方根关系.

假设 $A(z)_1$ 为 0.4, T_T 为 0.7, T_R = 0.5, 带通滤光片的对应激光波长透过率 F_1 = 70%, 口径为 80mm, 系统可测试的最小能量 $P_{min} = 1 \times 10^{-7}$ W 地面目标的最小反射率为 0.01, 那么测量 3 公里目标需要的最大功率为: 2.294×10^5 W, 当激光脉宽的 $\tau = 7$ ns, 那么脉冲的能量为 1.605 mJ 即可.

当处于高覆盖率的情况下,即处于高速或者大刈宽的场合,需要考虑滞后角的问题,由于各个像元视场的倾角不同,所以各个像元的滞后角分别为

$$\theta_{lag,n} = 2VH / (Hc \cos(\theta_{sc,n})) = 2V / (c \cos(\theta_{sc,n})) \quad (6)$$

式中 $\theta_{lag,n}$ 为第 n 个像元所对应的滞后角, $\theta_{sc,n}$ 为第 n 个像元所对应的视场倾角,在系统中,地面各个纵行这一角度是恒定的.当 $\theta_{lag,n} \cdot H \geq \frac{1}{2} \beta H$, 也即 $\theta_{lag,n} \geq \frac{1}{2} \beta$ 时,必须考虑在构造高程的方程中进行后校正处理.

3 阵列探测技术的对地观测激光成像系统

以激光回波阵列探测技术为基础形成一种与原有光机扫描型不同的激光对地观测系统——推帚式激光成像测高系统.采用推帚式技术可以显著提高

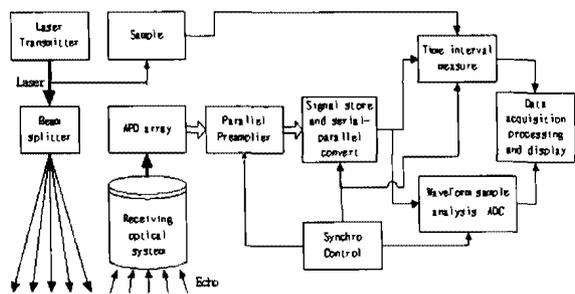


图1 推帚式激光三维成像原型系统框图
Fig. 1 The block diagram of prototype push broom 3-D imager system

激光对地观测系统的处理速度和地面覆盖率,其机械和光学设计更简单,机械失效的危险更小.由于没有使用摆扫结构,使得系统的功耗减少,体积减小,噪声减小,从而显著提高这些系统的性能和可靠性.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探测,这在未来的自适应对地观测三维成像中特别有用.并且推帚式激光成像技术特别适合与推帚式光电、光谱成像等技术的配合而实现综合遥感系统,很容易地实现空间匹配和图像的配准.其原型系统框图如图1所示,激光器出射的激光经过分束器分束后,由地面反射后回波经过接收光学系统,进入雪崩管阵列的光电转化后,进行距离测量和信号分析等处理,处理结果送入计算机保存并显示.

4 激光回波阵列探测技术的实现

在设计原型系统中,我们在采用了线阵雪崩二极管阵列作为多元回波探测器件,其实物如图2所示.该器件采用了双扩散通达型结构,这种结构使得器件在1060nm以上时还能提供很高的响应率,这对于采用YAG或者YLF激光器作为光源的系统十分有利.同时在全波段都有相当快速的上升和下降时间特性,一般情况下可以达到200MHz.系统在

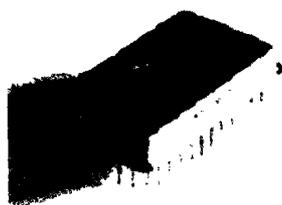


图2 雪崩二极管阵列实物图
Fig. 2 The profile of APD array

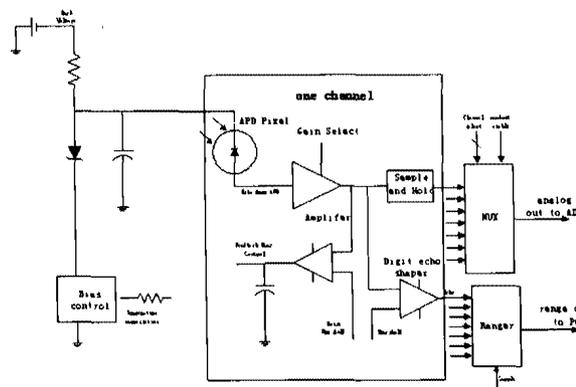


图3 雪崩二极管阵列接收模块的块原理图
Fig. 3 The block diagram of APD array receiving module

1060nm波段的量子效率为18%.典型的上升下降时间是2ns(50Ω负载时)各个单元间的增益不均匀性为±15%.激光回波阵列探测技术实现框图如图3所示.图中仅标明了一路,实际电路中有25路.

激光回波信号由APD阵列的各个单元被接受转换成电信号后,经过增益可控的放大器后输入到采样保持电路中进行峰值采样,采样后的信号,通过多路复用器送入A/D模块进行转换,放大器输出的信号同时通过数字回波生成电路,产生数字回波后送入测距模块,同时也将激光发射时的主波信号送入测距模块,从而得到测距结果,并将其送入计算机进行保存.同时对各路信号的噪声进行监控,并将噪声信号积分后,对雪崩管偏压进行反馈控制.另外由于雪崩管的增益会随着温度的变化而改变,因此需要对雪崩管阵列的偏压进行温度补偿.

阵列回波探测模块在整个系统中起着决定性的作用,其偏压值决定了系统的探测性能,因此在控制其偏压时必须考虑到以下问题:(1)在发射激光时刻,必须降低放大模块的增益,同时降低APD阵列的偏压,以避免激光出射时强烈的后向散射信号误触发后续电路,导致数据无效;(2)由于APD随着温度的上升,其增益有所变小,所以为了保证回波信号的一致性,必须对APD的偏压进行温度补偿,因此在电路设计中,应采用温度传感器对APD的偏压进行反馈控制,以保证在较宽的工作温度下各个单元回波的增益一致性.(3)偏压同时受到外界背景噪声的控制,当背景噪声过大时,容易产生误触发信号,通过降低雪崩管的偏压值,来达到控制噪声.在系统中,采用对多路噪声进行提取并积分的方法对偏压进行反馈控制.也即根据背景的平均噪声水平,对偏压进行控制. (下转第175页)

3 结论

通过对碲镉汞中波光导器件进行不同剂量的电子辐照,我们发现辐照后器件的峰值波长明显向短波方向移动,器件的体电阻当辐照剂量大于 $10^{15}/\text{cm}^2$ 时明显减小. 作为反映器件性能的参数响应率和探测率有不同的变化趋势,响应率与体电阻有相似的变化,探测率则由于噪声的影响无明显变化趋势. 关于器件的辐照损伤机制,由于碲镉汞属缺陷半导体,而电子辐照又有多种作用效应,所以单以本实验难以确切表述,仅就最明显的损伤机制作了解释,其它则需进一步实验来研究.

REFERENCES

- [1] Mallon C E, Naber J A, Colwell J F, *et al.* Effects of electron radiation on the electrical and optical properties of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ [J]. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1973, **HS-20**:

214—219.

- [2] Voitshovski A V, Broudnyi V N, Lilenko Yu V, *et al.* High temperature defects in electron irradiated semiconductors HgCdTe , PbSnTe [J]. *Solid State Communications*, 1979, **31**: 105—108.
- [3] Green Barry A, Leadon Roland E, Mallon Charles E. Mobility changes produced by electron irradiation of n-type $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ [J]. *J. Appl. Phys.*, 1976, **47**(7): 3127—3134.
- [4] Mallon C E, Green B A, Leadon R E, *et al.* Radiation effects in $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ [J]. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1975, **NS-22**: 2283—2288.
- [5] HU Xin-Wen. The study of irradiation effects on infrared detectors [D]. Doctor dissertation of Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science (胡新文. 红外探测器辐射效应研究. 中科院上海技术物理所博士学位论文), 1999. 7.
- [6] Willardson R K, Albert C Beer. *Semiconductors and Semimetals* [M]. New York: Academic Press, 1981, **18**: 251.
- [7] Hu Xin-Wen, Fang Jia-Xiong, Wang Qin, *et al.* A deep level induced by gamma-irradiation in $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**(1): 91—92.

(上接第 171 页)

(4) 器件制造工艺的原因,即使在相同的偏压下,各 APD 单元增益均匀性也不一致,因此在系统运行前必须进行定标,并以这些定标数据为依据在生成灰度像时进行校正.

由于接收电路主要是对于微弱信号的探测,而系统将工作在比较恶劣的电磁环境中,因此对噪声控制需额外注意,首先要对电源模块进行滤波,尽量减少由于电源带来的噪声. 其次保证各个模块地线的良好连接,尤其是回波探测模块的部分,以防止噪声经过地线反弹到信号电路中. 在主波和回波的数字整形端,加以电位器以保证在不同的电磁环境下,不会由于噪声导致误触发. 各个模块之间应该考虑采用光耦进行隔离,以避免不必要的干扰. 在主波和回波探测器前安装带通滤光片,以确保其它频率的光信号不会产生误触发,同时降低噪声. 对各个模块之间的电磁隔离对于降低系统的噪声也是有益的.

为了保证系统的正常工作,提高系统的可靠性,保证数据的准确性,有必要对系统的工作状态进行有效的监控和记录,监控记录的参数有:激光的出射功率、雪崩管的偏压值,时序信号等.

5 结论

激光回波阵列探测技术在推帚式激光成像测距系统中起着关键的作用,是下一代激光对地观测系

统的关键技术. 在保证较低的最小探测功率的前提下,设计时应注意对系统的各个参数进行监视和控制,以保证各种反演结果的准确性.

REFERENCES

- [1] Christoph Hug. Introducing the next generation imaging laser altimeters: Concept of A Modular Airborne Pushbroom Laser Altimeter (MAPLA) [C]. The Fourth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition 21st Canadian symposium on Remote Sensing, Ottawa, Ontario, Canada, 1999, 21—24.
- [2] Buck Burns H N, Maj Todd Steinner, Dave Hayden. Compact, 625-channel scannerless imaging laser radar receiver [J]. *SPIE*, 1999, **2748**: 39—46.
- [3] Ackermann, Friedrich. Airborne laser scanning—present status and future expectations [J]. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**: 64—67.
- [4] Wehr Aloysius, Lohr Uwe. Airborne laser scanning—an introduction and overview [J]. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**: 68—82.
- [5] Baltsavias E P. Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources [J]. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**: 164—198.
- [6] Gustavson L Robert, Davis E Thomas. Diode-laser radar for low-cost weapon guidance [J]. *SPIE Laser Radar*, 1992, **VII**: 21—32.
- [7] Richard Richmond, Roger Stettner, Howard Bailey. Laser radar focal plane array for three-dimensional imaging [J]. *SPIE*, 1999, **2748**: 61—67.