

半导体激光主动成像雷达扫描成像实验*

成向阳 李 宁 王海虹 尚铁梁 王 骥

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨, 150001)

摘要: 对激光主动成像雷达做了一些初步的理论与实验研究, 建立了一个半导体激光扫描成像演示系统, 利用雷达距离方程计算了系统的最大作用距离, 并在实验室做了成像实验。在实验室内获得了 10 帧/s、每帧 32 行的轮廓像, 且成像质量较高。

关键词: LD 雷达 扫描成像 主动成像 作用距离

Scanning imaging by LD laser active radar

Cheng Xiangyang, Li Ning, Wang Haihong, Shang Tieliang, Wang Qi

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: Theoretical and experimental studies have been done on laser active imaging radar. A laser scanning imaging demonstration system has been established. On the basis of radar distance equation, maximum operation distance is calculated. On the experimental setup, a figure picture with 10 frames per second, 32 rows per frame is obtained. The quality of the picture is very high.

Key words: LD laser scanning imaging active imaging operation distance

引 言

主动成像已成为现在及今后一段时期, 激光雷达的主要研究方向^[1,2]。国外已经有了一些成型的产品投放市场, 甚至装备部队^[3,4], 而国内还只做了一些概念性研究。我们对激光主动成像雷达做了一些初步的理论与实验研究, 建立了一个激光扫描成像演示系统, 并在实验室做了成像实验。该演示系统采用收发分置、激光脉冲发射、二维扫描、能量接收、电脑实时显示的工作方式。光源是中心波长为 650nm 的可见光半导体激光器, 扫描器是检流计式扫描振镜, 采用光电倍增管接收, 接收天线采用伽利略望远镜。我们研制的半导体激光扫描成像雷达演示装置, 结构紧凑、操作方便、耗资低廉, 实现了 10 帧/s、每帧 32 行的快速扫描成像, 并且成像质量较好, 具有广阔的应用前景, 例如, 可用于低空飞行器下视地形匹配。

1 系统装置

图 1 是我们建立的半导体激光成像雷达系统结构示意图, 这是一个收发分置激光雷达演示系统, 采用脉冲发射、二维扫描、直接接收、计算机实时显示的工作方式。

半导体激光器发出的光脉冲经过二维扫描器直接照射目标, 经目标反射的回波信号由天线接收, 经过干涉滤光片到达光电倍增管探测器, 探测器输出的电信号经过整形与放大电路被

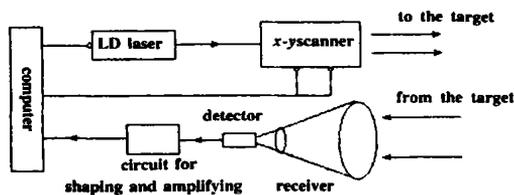


Fig. 1 Optical schematic of LD laser rapid imaging radar system

* 哈尔滨工业大学校基金资助项目。

送至计算机。

我们为本雷达演示系统专门研制了可见光半导体激光器及控制电源,中心波长为 650nm,运行机制为连续脉冲均可,脉冲平均功率约 10mW,重复频率在 0~100kHz 范围内可调,且可以不均匀发射脉冲,脉冲发射时间及脉宽均可由外部输入的 TTL 电信号控制。扫描器是检流计式二维振镜扫描器,由外部输入的电信号控制其扫描波形、频率和范围,扫描视场为 $\pm 5^\circ \times \pm 2.5^\circ$ 。接收天线采用伽利略望远镜,物镜直径 150mm,焦距 200mm,目镜直径 40mm,焦距 40mm。

上述雷达系统结构紧凑、操作方便、耗资低廉,应用前景广大。

2 最大作用距离的计算

2.1 激光雷达距离方程一般表达式

当发射、接收同在一处时,激光雷达距离方程的一般表达式可写成^[1,5]:

$$P_r = P_t T_1 T_2^2 \bar{r} A_r / R^2 \quad (1)$$

式中, P_r 为接收功率; P_t 为发射功率; T_1 是光学系统透过率; T_2 是单程大气透过率; \bar{r} 是目标反射率的定向分布函数,如果目标上各点的特性一致,可取平均值; A_r 是有效接收面积; R 是目标与发射器或接收器的距离; $\bar{r} = A_i / A_b$, A_i 是垂直于光束的目标被照面积, A_b 是目标处的光束截面积。

在不同的激光雷达应用中,目标被发射在目标处的光斑照射的关系不同,激光雷达的作用距离表达式也不同。当目标较小,可以看成“点目标”时,目标全部被照射,方程(1)中接收到的功率与距离 4 次方(R^4)成反比;当目标大小与发射在目标处的光斑相当时, P_r 与 R^3 成反比;我们所建立的雷达演示系统中,垂直光束的目标截面始终大于目标处的光束截面,则有: $A_i = A_b$, 即 $\bar{r} = 1$, 这时,方程(1)可写为:

$$P_r = P_t T_1 T_2^2 A_r / R^2 \quad (2)$$

2.2 本系统最大作用距离的估算

为求本雷达演示系统的最大作用距离,须求出系统的最小接收功率。本系统采用的是光电倍增管接收,属于能量检测,为了计算简便,只考虑信号散粒噪声和暗电流噪声而忽略背景噪声和热噪声,则信噪比可表示为^[6]: $SNR = P_r^2 (e/h)^2 / \left\{ 2e f \frac{1}{-1} \left[\frac{eP_r}{h} + I_d \right] \right\}$ (3)

式中, η 为量子效率; h 为普朗克常数; ν 是入射光频率; f 为电路带宽; η 为光电倍增管打拿极的二次发射系数,一般取值为 3~6; e 为电子电荷; I_d 为光电倍增管的暗电流,我们所用的是 GDB24,暗电流为 10nA。根据(3)式,由需要的最小信噪比可求出最小可探测功率,再根据(2)式可求出最大作用距离。

2.3 计算结果

本系统中发射功率 P_t 为 10mW;光路元件少且距离较短, $T_1 T_2^2$ 取为 0.3;反射系数平均值取 0.06; $A_r = D^2/4$, D 是接收物镜的直径,为 150mm;考虑到发射波长并非处于光电倍增管的峰值波长,量子效率 η 取为 0.3;最小信噪比取为 9;电路带宽 $f = 1/2 R_L C$, 大约为 1.75×10^4 Hz,其中, R_L 为等效负载约 91k, C 为探测器结电容、分布电容和前置放大器输入电容之和,大约 100pF。最后计算得出在以上条件下,最大作用距离为 15m 左右。

3 成像试验研究

作用距离和成像质量是评价激光成像雷达性能的两个重要指标。我们目前尚未做外场实验,现有实验全部在室内完成,10m 远的实验距离尚未达到计算得出的最大作用距离。本雷达系统的光源脉冲平均功率虽然仅为 10mW,但结构简单,光路元件较少,损耗较少。另外,本系统中光束经扫描后形成的准均匀点阵直接照射目标,减少了成像过程中引起图像失真的因素。

本系统实验中,行扫描器由 160Hz 简谐波控制做简谐扫描,帧扫描器做 5Hz 三角波扫描,激光器发射时间不均匀脉冲,以保证扫描点阵的空间均匀性,脉冲发射时间经过计算得出,关于计算方法我们有文献报道。

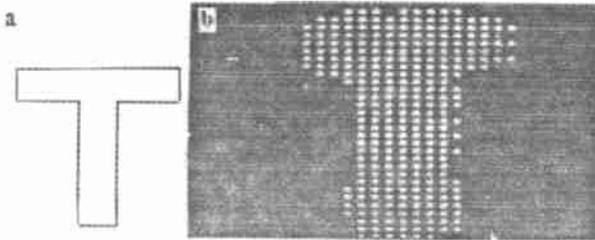


Fig. 2 Picture of the target a and LD laser radar image of the target b

目前,在实验室内进行了成像实验,由计算机实时显示。漫反射目标置于距雷达系统 10m 处,获得了模拟目标强度像。目标是包装用的白色泡塑裁剪成的英文大写字母“T”,见图 2a,图 2b 是从计算机上拍摄到的图像。可见,雷达成像质量较好。

4 结 论

半导体激光雷达的特点是测距和三维成像能力强,我们研制的半导体激光扫描成像雷达演示装置,实现了 10 帧/s、每帧 32 行的快速扫描成像,并且成像质量较好,具有广阔的应用前景,例如,提高激光器功率到 1W,最大作用距离即可达到 150m,可用于低空飞行器下视地形匹配。

参 考 文 献

- 1 熊辉丰. 激光雷达. 北京:宇航出版社,1994:285
- 2 简 莉. 军用 CO₂ 激光系统. 北京:机电部兵器科学技术情报所,1989:77~87
- 3 Gustavson R L, Davis T E. SPIE,1992;1633:21
- 4 Dillon R F, de Gloria D P, Pagliughi F M. SPIE,1992;1633:274
- 5 Cooke C K. Appl Opt,1972;(2):227~284
- 6 高雅允. 光电检测技术. 北京:国防工业出版社,1995:76~96
- 7 刘仁昌. 光电器件手册. 北京:人民邮电出版社,1989:1053~1057

作者简介:成向阳,女,1971 年 11 月出生。硕士,讲师。现主要从事激光技术等方面的研究工作。

收稿日期:2000-07-17 收到修改稿日期:2000-11-07