

文章编号: 0258-7025(2002)06-0569-04

# CO<sub>2</sub> 激光主动成像雷达扫描成像实验

王春晖, 成向阳, 田兆硕, 李 宁, 李 琦, 王 骥

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所 可调谐激光技术国家重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150001)

**提要** 采用扫描发射、收发合置、外差探测等技术建立了一台 CO<sub>2</sub> 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, 并对室内 5 m 处的目标及室外 578 m 远处的大楼做了成像实验, 扫描角度为  $\pm 2^\circ \times \pm 1^\circ$ , 获得了每秒 10 帧、每帧 32 行的轮廓像。

**关键词** CO<sub>2</sub> 激光雷达, 外差探测, 作用距离

**中图分类号** TN 958.98 **文献标识码** A

## CO<sub>2</sub> Laser Radar Initiative Scanning Imaging Experiment

WANG Chun-hui, CHENG Xiang-yang, TIAN Zhao-shuo, LI Ning, LI Qi, WANG Qi

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Institute of Opto-Electronics,  
Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract** This paper reported a CO<sub>2</sub> laser scanning imaging demo system adopting the technology of scanning transmit, the same antenna for receiving and transmitting, heterodyne detection etc. The maximum operation distance of the system was calculated by using the radar distance equation. The imaging experiment with the targets 5 meters away indoor and the building 578 meters away, and the viewpoint  $\pm 2^\circ \times \pm 1^\circ$  is carried out. The outline picture of 10 frames per second, 32 rows per frame is obtained.

**Key words** CO<sub>2</sub> laser radar, heterodyne detection, operation distance

## 1 引 言

CO<sub>2</sub> 激光主动成像已经成为现在及今后一段时期激光雷达的主要研究方向<sup>[1,2]</sup>。国外已经有了一些成型的产品投放市场,甚至装备部队<sup>[3,4]</sup>,而国内还只做了一些概念性研究。本实验室已经在激光主动成像及外差探测等方面作了一些研究<sup>[5~7]</sup>,在此基础上我们建立了一个 CO<sub>2</sub> 激光主动成像雷达演示系统,利用雷达方程计算了该系统的最大作用距离,并对室外目标成像。该系统采用双通道波导 CO<sub>2</sub> 激光器作为光源;二维扫描器采用检流计式双振镜扫描;收发信号均通过扫描振镜,不用发射和接收望远镜;HgCdTe 探测器进行外差接收;电脑显示实时成像。本文研制的 CO<sub>2</sub> 激光主动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

1/s,每帧 32 行的 578 m 远处成像,图像的特征与目标特征相吻合,并且成像质量受气候条件影响较小,具有广阔的应用前景。

## 2 系统装置

图 1 是我们建立的 CO<sub>2</sub> 激光主动成像雷达系统结构示意图,这是一个收发合置激光雷达演示系统,采用脉冲发射、二维扫描、外差接收、计算机实时显示的工作方式。双通道 CO<sub>2</sub> 激光器发出两束光,一束为电光调 Q 脉冲发射,作为主振光 MO 经过扩束镜 BCT1(扩束比 8.7×),布儒斯特窗 BP,1/4 波片 QWP 及二维扫描振镜后发射直接照射到目标;另一束光的偏振方向与主振垂直,作为本振 LO,经过扩束镜 BCT2(扩束比 8.7×),合束镜 BS 一面镜

收稿日期 2001-04-20;收到修改稿日期 2001-06-19

**作者简介** 王春晖(1965—)男,硕士,副研究员。1987年毕业于哈尔滨工业大学,现在哈工大光电子技术研究所工作,主要从事长波红外相干激光探测技术研究。E-mail: cxy-hit@0451.com

高反膜,另一面镀增透膜)及会聚透镜  $L$  (焦距 296 mm) 聚焦在 HgCdTe 探测器的光敏面上,本振光路上的衰减片 AP 及光阑  $D$  用来限制进入探测器的本振光强,经目标反射的主振回波信号由扫描镜面收集,经过 1/4 波片后由于偏振方向改变,被布儒斯特窗反射,经过合束镜后与本振光束一起被会聚在探测器的光敏面上。探测器输出的电信号经过前置放大器、主中频放大器、数字预处理器被存储等待计算机调用。计算机把采集到的数据经过图像处理后再在屏幕上实时显示目标的轮廓像。

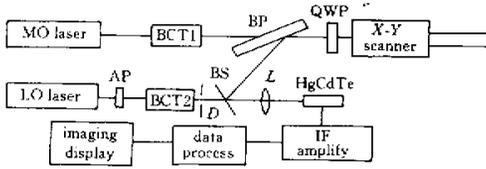


图1 CO<sub>2</sub>激光主动成像雷达演示装置结构简图

Fig. 1 Optical sketch of CO<sub>2</sub> laser initiative imaging radar system

我们使用的双通道波导 CO<sub>2</sub> 激光器,主振为电光调 Q,  $P(20)$  支 10.6  $\mu\text{m}$  输出,峰值功率为 200 W,脉宽为 200 ns,脉冲前沿 50 ns。本振为  $P(20)$  光栅选支 10.6  $\mu\text{m}$  连续输出,用压电陶瓷选频,使回波信号与本振的差频信号保持在 60 MHz  $\pm$  5 MHz 范围内。

主振光与本振光的线偏振方向互相垂直。光束经过扩束器后光斑尺寸扩大到  $\phi$  20 mm,主振光束经过 1/4 波片变成圆偏振发射,目标反射回波信号经过 1/4 波片后偏振方向与本振相同。HgCdTe 探测器光敏面的直径为 0.3 mm。整个光学系统中各光学元件的参数及位置经过严格设计,并固定在一个平台上,光学系统经过耐心细致的调整,可以使得在探测器表面上回波信号与本振信号的波前之间夹角小于  $\lambda/\pi d$  ( $d$  为探测器的直径),以在探测器表面有效地进行光混频。

### 3 最大作用距离的计算

#### 3.1 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<sup>[1]</sup>

$$P_r = P_t T_1 T_2^2 \rho_1 \bar{r} A_r / R^2 \quad (1)$$

式中  $P_r$  为接收功率; $P_t$  为发射功率; $T_1$  为光学系

统透过率; $T_2$  为单程大气透过率; $\rho_1$  为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; $A_r$  为有效接收面积; $R$  为目标与发射器或接收器的距离; $\bar{r} = A_i/A_b$ ,  $A_i$  为垂直于光束的目标被照面积, $A_b$  为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四次方( $R^4$ )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

$$P_r = P_t T_1 T_2^2 \rho_1 A_r / R^2 \quad (2)$$

#### 3.2 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。本系统采用光伏型 HgCdTe 探测器及其前置放大器,进行外差检测。远距离探测时,信号光很弱,本振光远大于信号光强,散粒噪声远大于其他噪声,外差探测信噪比 SNR 可表示为<sup>[1]</sup>

$$\text{SNR} = \frac{P_r \eta g}{h\nu \Delta f} \quad (3)$$

其中  $\eta$  为量子效率; $h$  为普朗克常数; $\nu$  为入射光频率; $\Delta f$  为探测器的接收带宽; $\eta$  为量子效率; $g$  为外差效率,是为了考虑信号光与本振光在探测器的混频面上的实际匹配程度而引入的。

根据(3)式,由需要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。

#### 3.3 计算结果

本系统中发射功率  $P_t$  为 200 W;因光路元件少,同时考虑发射与接收光路上的损耗,  $T_1$  取为 0.2,能见度为 1.6 dB/km 时,往返 1 km 透过率为 0.7,  $T_1 T_2^2$  取为 0.14;反射系数平均值取 0.018;  $A_r$  为有效接收面积,在本系统中即为扫描振镜的面积,约为  $6.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ;量子效率  $\eta$  为 0.5;外差效率  $g$  取为 0.25;我们实际测量的探测器实际带宽  $\Delta f$  为 150 MHz;最小信噪比取为 10;最后计算得出在以上条件下,最大作用距离为 750 m 左右。

### 4 成像试验研究

我们对室内目标及室外目标均进行了成像实

验主振激光光电调 Q 脉冲输出,本振用压电陶瓷调频连续输出,扫描光斑尺寸为  $\phi 20\text{ mm}$ ,这样大振镜只能在很低频率下(40 Hz)以下)才能做匀速扫描,因此二维扫描振镜 x 方向采用 320 行/s 简谐波扫描,y 方向采用 10 帧/s 的 32 阶梯式锯齿波扫描,以在物方形成每秒 10 帧、每帧 32 行的扫描像,两个扫描指令的关联如图 2 所示;HgCdTe 探测器接收到的模拟信号经过中频放大器放大;再经过预处理器形成数字信号,计算机调用这些数字信号进行图像处理及显示。所有这些工作都在图 3 所示的

时序同步控制信号的控制下进行。

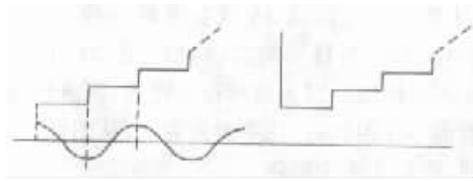


图 2 二维扫描振镜两个扫描指令之间的关联  
Fig.2 Conjunction of the instruction signal of the scanning system

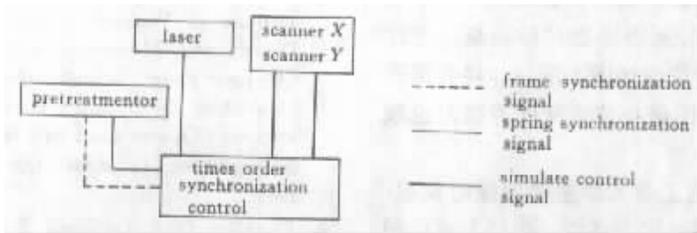


图 3 时序同步原理图

Fig.3 Times order synchronization theory schematics

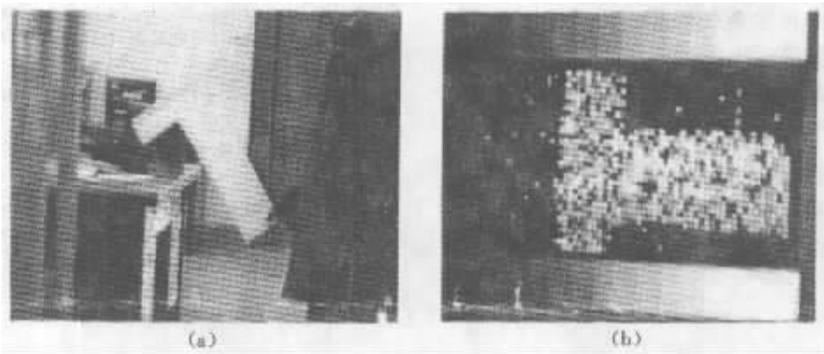


图 4 室内 5 m 处成像实验

(a) 目标实物照片 (b) 目标激光雷达成像图

Fig.4 Imaging experiment at 5 m indoor

(a) the target practicality picture ;(b) the laser radar imaging of the target

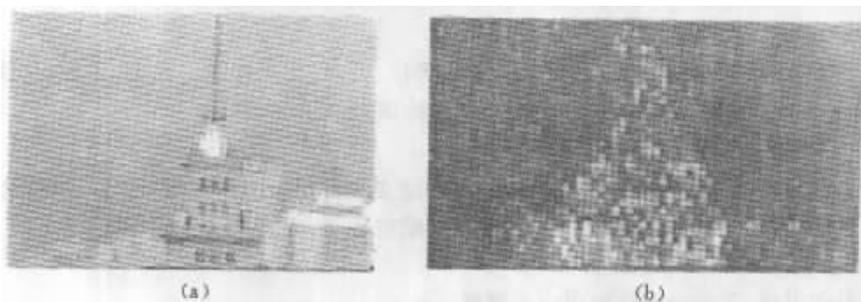


图 5 哈尔滨工业大学主楼与激光雷达成像比较

(a) 哈尔滨工业大学主楼 (b) 哈尔滨工业大学主楼激光雷达图像

Fig.5 HIT master building and it's laser radar imaging

(a) HIT master building ;(b) laser radar imaging of HIT master building

将“T”型泡沫板目标放置在距离系统 5 m 远处,在计算机上拍摄到 16 级灰度轮廓像如图 4 所示,其中图 4(a)为目标的实物照片,图 4(b)为目标的激光雷达图像。因为目标距离很近,回波很强,外差接收信噪比相当高,几乎为无穷大,从图像上看也可体现,背景几乎为黑色。

为了有效地对室外目标成像并体现出系统的作用距离,我们把整个系统移到哈尔滨工业大学理学楼 12 楼,通过窗户对距离 578 m(哈尔滨测量高等专科学校测量公司用图解法量算结果)的哈尔滨工业大学主楼成像。在示波器上可以读出发射脉冲时间与接收脉冲时间之差,从而得出目标距离。在计算机上可获得目标的轮廓像如图 5 所示。接收信噪比较小,大约为 7,所以图像与背景灰度等级差也较小。

我们在观察哈尔滨工业大学主楼图像时发现,雾天的图像与晴天时基本没有区别。但是与近处图像相比,哈尔滨工业大学主楼图像有点模糊,仅能分辨其外观。原因有三个:一是探测器接收到的回波信号能量较弱;二是光学系统内部有一些杂散光形成噪声,从而使图像信噪比较低;三是哈尔滨工业大学主楼的目标反射率较低。要想得到较清晰的图像,可以采取以下措施:加上适当的发射和接收望远镜,以增加接收能量;在电路上采取一些措施,降低内部噪声,提高信噪比,从而提高作用距离,并提高图像清晰度;在已有图像基础上进行图像处理,去除噪声,提高清晰度。

## 5 结 论

本文研制的 CO<sub>2</sub> 激光扫描成像雷达演示装置,在不用发射和接收望远镜的情况下,实现了 578 m 远,10 帧/s 每帧 32 行的快速扫描成像,并且成像质量较好,气候条件影响不十分明显,具有广阔的应用前景。

### 参 考 文 献

- 1 Xiong Huifeng. Laser Radar [M]. Beijing: Space Navigation Press, 1994. Chapt. 7, CO<sub>2</sub> Laser Imaging Radar. 285~290 (in Chinese)
- 2 Jian Li. Military CO<sub>2</sub> Laser System [D]. Intelligence Institute of Weapon Science and Technology at the Department of Machine and Electricity. Book 3, Chapt. 1, CO<sub>2</sub> Laser Radar. Beijing, 1989. 77~87 (in Chinese)
- 3 H. Ahlberg, S. Lunqvist, D. Letalik *et al.*. Imaging Q-switched CO<sub>2</sub> laser radar with heterodyne detection: design and evaluation [J]. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(17):2891~2898
- 4 F. Dillon, D. P. De Gloria, F. M. Pagliughi *et al.*. Low-cost laser radar imaging experiments [C]. *SPIE*, 1992, **1633**:274~280
- 5 Cheng Xiangyang, Li Ning, Wang Hailong *et al.*. Research on the LD rapid scanning imaging radar [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, **A28**(7):658~660 (in Chinese)
- 6 Wang Chunhui, Tian Zhaoshuo, Wang Qi. Study of heterodyne of Q-switched pulse laser [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, **A28**(2):130~132 (in Chinese)
- 7 Tian Zhaoshuo, Wang Qi, Wang Chunhui. Investigation of pulse heterodyne of electro-optically Q-switched RF excited CO<sub>2</sub> waveguide laser with two channels [J]. *Appl. Opt.*, (received)

## 敬 告 作 者

根据“中国学术期刊(光盘版)”和“美国工程信息公司(EI)数据库”的要求,本刊从 2002 年第一期起对刊登的论文增加下列内容:

1. 论文第一作者简介(30~50 字)。可按以下顺序列出:姓名(出生年月),性别,民族(汉族可省略),籍贯,职称,学位,研究方向。在简介前加“作者简介:”作为标识。

2. 电子信箱

3. 文章参考文献类型标识 [M]—专著(书)[C]—论文集[J]—期刊文章[D]—学位论文[R]—报告[S]—标准[P]—专利,并置于论文题目后。[参考文献的题目、作者(3 位以上写满 3 位)、年、卷、期、起止页码均须给全并准确]

4. 为便于联系和审稿,英文版稿件请附中文摘要。

希作者在投稿时提供以上信息,谢谢合作。