

文章编号 : 0253-2239(2002)09-1081-03

# 脉冲相干激光雷达测距信号研究

田兆硕 王 骐 王春晖 成向阳 李 宁 李 琦 尚铁良

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘要: 对脉冲激光雷达外差测距信号进行了研究, 理论上采用调  $Q$  激光脉冲的数值计算波形, 研究了脉冲激光经远处目标漫反射后进行外差接收的波形及其傅里叶变换频谱成分。实验上, 研究了可调谐电光调  $Q$  射频激励波导  $\text{CO}_2$  激光器脉冲激光经目标反射后的外差波形及其傅里叶变换频谱成分, 并计算了目标的距离, 理论分析与实验结果一致。

关键词: 脉冲相干激光雷达; 测距信号; 电光调  $Q$ ;  $\text{CO}_2$  激光器

中图分类号: TN958.98 文献标识码: A

## 1 引 言

激光外差现象已广泛应用于相干成像雷达<sup>[1-4]</sup>, 人们对连续激光外差现象进行了详细的理论与实验研究<sup>[5]</sup>。虽然脉冲激光相干雷达已有很多报道<sup>[1,6]</sup>, 但还未见对脉冲激光外差进行微弱信号检测波形的较直观的理论分析。

$\text{CO}_2$  激光测距机由于对人眼安全, 对战场烟雾穿透性能好等优点而得到广泛应用, 而相干探测比直接探测具有更高的灵敏度与信噪比, 还可以从目标中提取多普勒信息, 用来测量目标的运动速度。本文采用  $Q$  开关  $\text{CO}_2$  激光脉冲六温度理论波形, 在理论上研究了脉冲激光外差的波形及其傅里叶变换频谱成分, 并在实验上测量了 1.6 km 处大楼的脉冲激光回波信号的外差波及其傅里叶变换频谱, 计算了目标的距离, 理论分析与实验结果一致。

## 2 电光调 $Q$ 脉冲激光外差理论

我们已经详细地在理论与实验上研究了电光调  $Q$  射频激励波导  $\text{CO}_2$  激光器输出脉冲激光的波形<sup>[7,8]</sup>。用  $\text{CO}_2$  激光器动力学的六温度模型对  $Q$  开关  $\text{CO}_2$  激光器动力学过程进行了较全面的分析, 理论计算的调  $Q$  脉冲激光波形(如图 1 所示)与实验符合较好。调  $Q$  脉冲激光电场强度可表示为

$$E_s(t) = E_s \sqrt{\frac{P_{\text{out}}(t)}{P_{\text{max}}}} \cos(\omega_s t), \quad (1)$$

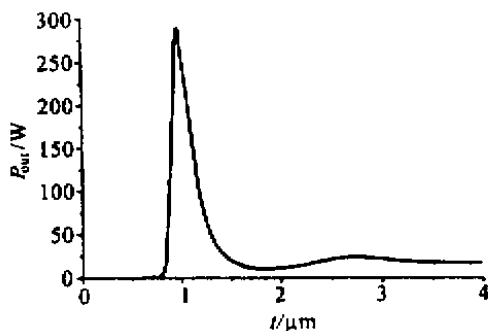


Fig. 1 Calculated waveform of electrooptically  $Q$ -switched  $\text{CO}_2$  laser pulse

此处  $E_s$  为调  $Q$  脉冲激光峰值电场强度,  $P_{\text{max}}$  为调  $Q$  脉冲激光峰值功率,  $\omega_s$  为调  $Q$  脉冲激光的角频率。由调  $Q$  脉冲激光与连续本振激光产生的差频电流信号, 由探测器输出可表示为

$$i_p(t) = a [ E_s^2(t) / 2 + E_L^2 / 2 + E_s(t) E_L \cos(\omega_s - \omega_L)t ] = i_1(t) + i_{\text{mf}}, \quad (2)$$

其中,  $a$  为与探测器的量子效率有关的比例因子,  $E_L$  为连续本振激光电场强度,  $\omega_L$  为本振信号光波的角频率。  $i_{\text{mf}}$  为差频项;  $i_1(t)$  不再是直流项, 而是与调  $Q$  脉冲激光波形有关的变化量。

在相干激光雷达外差检测系统中, 连续本振激光功率一般远大于脉冲激光的回波功率, 并且中频必须高于目标多普勒频率值, 使光混频器输出不至于产生零频附近的外差信号, 所以激光外差检测系统中频值比较高, 一般选择中频值范围 60 MHz ~ 150 MHz。当差频  $\omega_s - \omega_L = 60 \text{ MHz}$ ,  $E_L = 10 E_s$  时, 根据(2)式, 由探测器输出电流信号的理论波形如图 2 所示, 图中振荡的实曲线为调  $Q$  脉冲激光与

连续本振激光外差波形,虚线为调 Q 脉冲激光波形,此时脉冲外差波形已无明显的脉冲激光轮廓,因此相干激光雷达接收到的回波电流信号应如图 2 所示。采用 Mathcad 计算机语言对图 2 中脉冲外差波形进行傅里叶变换可以得到脉冲外差的频谱如图 3 所示。其中脉冲激光波形的频谱约为 0~10 MHz,图中的峰值对应的是 60 MHz 差频信号的频谱。实际上不同光强的脉冲激光与本振激光的外差频谱成分相同,只是频谱强度不同。

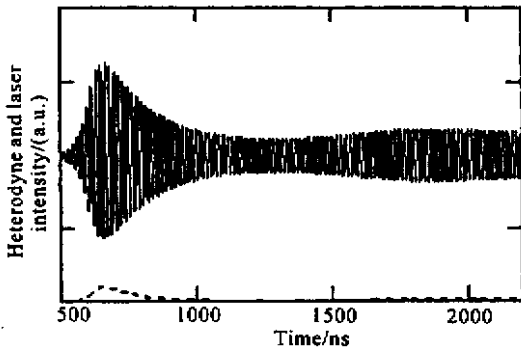


Fig.2 Heterodyne waveform of the pulsed laser and the laser compared to pulse waveform of Q-switched laser

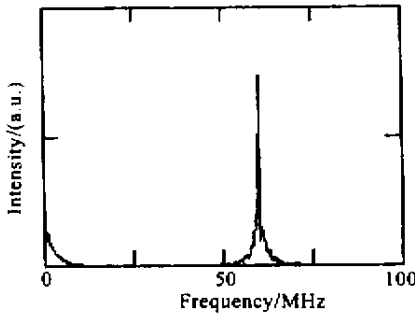


Fig.3 Fourier transform spectrum of the pulsed laser heterodyne

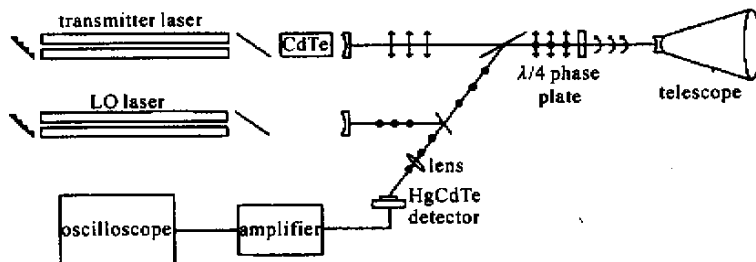


Fig.4 Experimental arrangement of coherent ranging-find of pulse laser radar. LO:Local oscillator

脉冲激光经过发射接收望远镜打到远处的高楼后,回波信号再经过发射接收望远镜、 $\lambda/4$ 波片、分束镜和合束镜与连续本振激光和束,在示波器上显示激光回波信号与连续本振激光相干外差后的波形。虽然望远镜的镜片镀有增透膜,但是不可能达到 100% 的透射率,因此由望远镜的镜片反射的脉

### 3 实验结果及讨论

脉冲激光相干测距系统的实验装置如图 4 所示。激光器由两部分组成,其中发射激光器采用光栅选支电光调 Q 射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器,波导口与输出镜采用第二类波导谐振腔耦合方式,布氏窗与输出镜之间放置 CdTe 调 Q 晶体,在调 Q 运转状态下,晶体所加  $\lambda/4$  电压为 2.65 kV,脉冲重复频率 1 Hz~40 kHz 可调。本振激光器采用连续输出的光栅选支射频激励波导 CO<sub>2</sub> 激光器,可由压电陶瓷调节腔长以改变本振激光频率。光学系统采用收发和置方式,从电光调 Q 射频波导 CO<sub>2</sub> 激光器发出的 p 偏振光,经无焦扩束系统后,通过布儒斯特透射,再经过一个光轴与 p 方向成 45° 的  $\lambda/4$  波片变成圆偏振光,最后经天线发射向目标。经目标反射的回波信号进入接收天线,接收的光束通过  $\lambda/4$  波片转变成 s 方向的线偏振光,经过镀偏振介质膜的布儒斯特窗片反射,再经过合束镜,由会聚系统将回波信号聚焦在探测器表面。同时连续的本振激光也经过合束镜由会聚系统聚焦在探测器表面。为了测量脉冲激光波形,挡住本振激光,脉冲激光直接打到近处目标,由带宽为 300 MHz 的液氮冷却光伏 HgCdTe 探测器测量脉冲波形。

用带宽为 1 GHz 的美国 TDS684A 数字存储示波器显示激光脉冲波形,在脉冲重复频率为 20 kHz 时,测得的调 Q 激光脉冲波形结果如图 5 所示,激光脉冲宽度为 180 ns,调 Q 激光脉冲的建立时间为 750 ns,光脉冲峰值功率为 300 W,与理论分析一致。

脉冲激光外差也反映到示波器上,作为近处的光信号,如图 6 上部分波形所示。在示波器上可以测量出远近脉冲激光外差信号的时间差为 11.6  $\mu$ s,因此可以计算出目标距离为 1.62 km。图 6 下面为脉冲激光外差信号的傅里叶变换频谱,此时外差频率为 60 MHz。可见脉冲激光外差信号及其傅里叶变换频

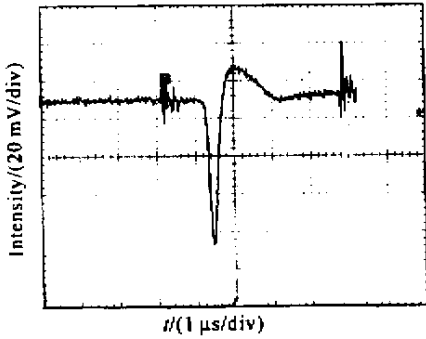


Fig. 5 Electrooptically  $Q$ -switched laser pulse waveform at the PRF of 20 kHz

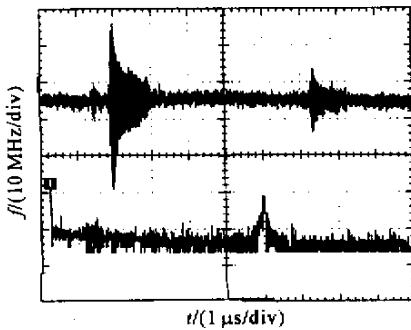


Fig. 6 Heterodyne waveform of the returned pulsed laser and its frequency spectrum of Fourier transform

谱与理论分析一致。由于所测量的大楼为静止目标,因此远处与近处脉冲激光外差信号的傅里叶变换频谱相同,如果目标远离测距系统运动,那么远处信号的傅里叶频谱应大于近处信号的傅里叶频谱;

反之如果目标向着测距系统运动,那么远处信号的傅里叶频谱应小于近处信号的傅里叶频谱,这样可以知道目标的运动方向,再根据远处与近处信号傅里叶频谱的差值就可以计算出目标的运动速度。

### 参考文献

- [1] Ahlberg H, Lundqvist S, Letalick D *et al.*. Imaging  $Q$ -switched  $\text{CO}_2$  laser radar with heterodyne detection: Design and evaluation. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(17): 2891 ~ 2898
- [2] Pearson G N, Rye B J. Frequency of a compact  $\text{CO}_2$  Doppler lidar transmitter. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(3): 6475 ~ 6484
- [3] He Yi, Wu Jian. Optical system of a coherent  $\text{CO}_2$  laser radar for edge tracking. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **A25**(7): 667 ~ 671 (in Chinese)
- [4] Sun Dongsong, Nan Jingda, Dai Yongjiang *et al.*. Real-time intensity imaging for  $\text{CO}_2$  laser heterodyne received. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1993, **13**(10): 949 ~ 951 (in Chinese)
- [5] Xiong Huifeng. *Laser Radar* (激光雷达). Beijing: Space Navigation Press, 1994. 112 ~ 115
- [6] Martin N J D. Experimental 10.6  $\mu\text{m}$  pulsed coherent laser rangefinder system. *Proc. SPIE*, 1987, **806**: 119 ~ 121
- [7] Tian Zhaoshuo, Wang Qi, Wang Yusan. Kinetic modelling of electrooptically  $Q$ -switched  $\text{CO}_2$  laser. *Opt. and Quantum Electronics*, 2001,
- [8] Wang Qi, Tian Zhaoshuo, Wang Yusan *et al.*. Electrooptically  $Q$ -switched RF excited  $\text{CO}_2$  waveguide laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(2): 97 ~ 100 (in Chinese)

## Study on Ranging Signal of Pulse Coherent Laser Radar

Tian Zhaoshuo Wang Qi Wang Chunhui Cheng Xiangyang Li Ning

Li Qi Shang Tieliang

(National key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

(Received 14 September 2001)

**Abstract:** The Investigation of pulse ranging signal for pulse coherent laser radar is presented. On the basis of the calculated pulse waveform of  $Q$ -switched laser, the waveform of pulse laser heterodyne and its frequency spectrum of Fourier transform reflected from scattered reflection object are studied theoretically. Experimental studies are made on reflected pulse laser heterodyne of tunable electrooptically  $Q$ -switched  $\text{CO}_2$  laser and its frequency spectrum of Fourier transform. In addition, the objected range is calculated. The experimental results are consistent with the theoretical analyses.

**Key words:** pulse coherent laser radar; ranging-find signal; electrooptically  $Q$ -switch;  $\text{CO}_2$  laser