

腔长调制引起的激光波前间歇畸变现象

何 毅

(电子科技大学应用物理研究所, 成都 610054)

余成波

(重庆工业管理学院, 重庆 400050)

摘 要 介绍周期性微调 CO₂ 激光器谐振腔长度引起激光波前间歇畸变的现象, 这种现象引起相干式调频连续波激光雷达回波信号带出现凹陷。初步观察表明, 这种现象的出现与激光支线有关。在波前畸变时, 激光器支线不跃变, 横模宏观特征也不变。

关键词 波前畸变, 调频连续波, 激光雷达。

1 引 言

自 1960 年第一台激光器问世以来, 光波段的相干探测技术就从理论探讨逐步过渡到系统研究^[1-3]。其中一种重要的信号体制就是腔内调频连续波体制(FMCW)^[4, 5]。腔内调频是通过在贴有谐振腔一端镜片的压电陶瓷上加电压, 周期性微调谐振腔长度来实现的。本文作者开展了激光雷达关键技术研究^[6], 第一阶段也采用调频连续波体制, 在实验过程中观察到一种现象, 即波前的间歇性畸变现象。这种现象未见文献报道, 目前的静态谐振腔模式理论尚不能给出满意的解释, 深入探讨其成因可为动态谐振腔模式理论研究和激光相干探测系统体制的选择提供重要的参考依据。

2 实验现象

研制的腔内调频连续波体制 CO₂ 激光雷达光学系统采用单管外差方式, 本振光由分束片取自同一激光器。若以较低的频率(如 1 kHz)线性调制激光器腔长, 则发射的激光频率是单频, 并且随时间线性变化, 如图 1(a)中实线所示。 t_1 时刻发射的频率为 f_1 的激光照射到目标上, 经过 Δt 时间后在 t_2 时刻散射光返回到探测器, 它与此时激光器发出的频率为 f_2 的本振光混频, 产生差频信号。若激光频率稳定, 本振光空间相位角恒定, 在凝视状态下探测器输出信号频带应如图 1(b)所示, 其中 A、B 是零频差点。

在作外场试验时观察到了如图 2(a)所示的信号带, 其中 A、B 位置与图 1(b)中 A、B 对应, 散射目标是位于 1 km 外的房层。在 AB 之间这段本应连续的信号带内出现了凹陷 C。用障碍屏由外向内切入, 挡掉部分本振光时, 这个凹陷可以被填平, 得到如图 2(b)所示的信

号, 但整个信号带幅度都有所减小。随着障碍屏切入, 填平凹陷的过程是连续的, 且障碍物从光束的任何方位切入都有类似的效果。需要说明的是通常凹陷并没有图中所示的那样深, 而是一个幅度相对较低的信号段。

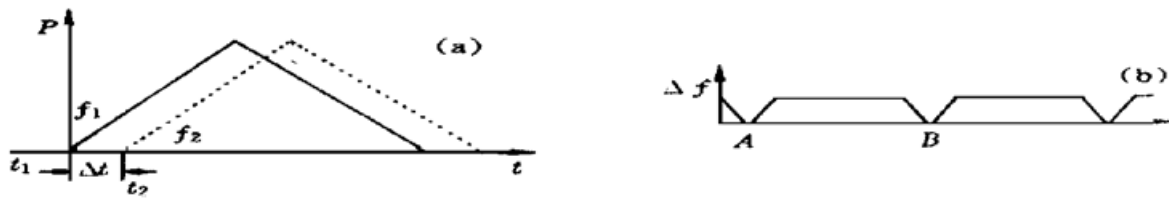


Fig. 1 Diagram for principle of frequency modulated continuous wave (FMCW). (a) Modulated laser frequency, (b) Heterodyne signal frequency band

图 2 是从模拟示波器上直接拍照得来的, 显然凹陷的出现具有周期性, 它的出现频率正好是腔长调制重复频率。

实验时, 探测器光敏面位于光学系统焦点附近, 光敏面直径为 $\phi 0.3 \text{ mm}$, 系统组合像差弥散斑直径小于 $50 \mu\text{m}$ 。由于光路收发共轴, 完全可以排除系统机械因素对信号过程的影响。

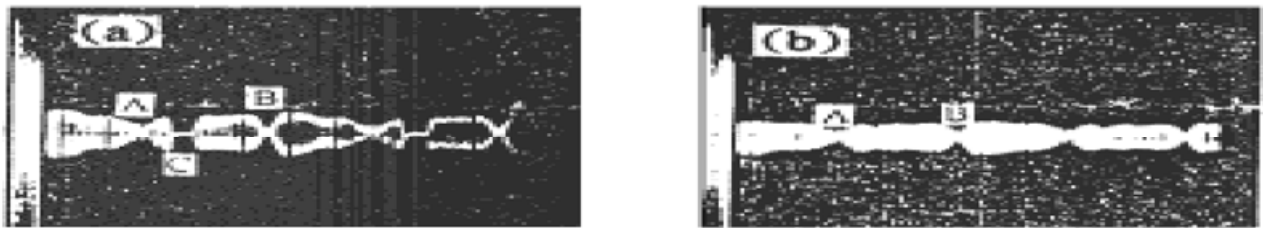


Fig. 2 The heterodyne signals. (a) With 'hollows', (b) When the 'hollows' are filled up

3 实验分析

根据上述实验现象, 凹陷 C 所对应的时间段没有信号或信号较弱, 其原因可能有这样几个方面: 1) 出现凹陷时激光器输出功率降低或没有功率输出, 使外差信号幅度降低或不产生外差信号; 2) 信号光或本振光偏离探测器光敏面而没能充分混频; 3) 激光器在那段时间内频率稳定度不够高, 使信号光与本振光不相干, 不符合外差混频条件; 4) 凹陷时间段内差频信号不能通过滤波器和信号放大电路; 5) 探测器光敏面上不同位置产生的信号出现相互抵消, 导致信号幅度降低甚至没有信号输出。

由于挡掉部分本振光外围后凹陷被填平了, 可以排除前 4 种可能性。于是, 只有第 5 种原因导致了实验现象的产生。外差探测系统隔直放大后探测器输出信号 $v(t)$ 的表达式为:

$$v(t) \propto \iint_D U_L U_s \cos [2\pi(f_s - f_L)t + (\mathcal{Q} - \mathcal{Q}_L)] dA \quad (1)$$

式中 U_L 、 f_L 、 \mathcal{Q} 分别为本振光的振幅、频率和相位, U_s 、 f_s 、 \mathcal{Q} 分别为信号光的振幅、频率和相位。dA 为探测器光敏面面元, 积分对光敏面 D 上信号光与本振光重叠区域进行。参量 U_L 、 U_s 、 f_L 、 f_s 、 \mathcal{Q} 、 \mathcal{Q}_L 均可能与时间和光敏面上一点的位置坐标有关。

根据(1)式, 造成在某一时间段 Δt 内 $v(\Delta t) = 0$ 或幅度降低的原因便集中到相位项 $(\mathcal{Q} - \mathcal{Q}_L)$ 上来了。

信号光由普通建筑物表面散射产生, 照明区域内各点与雷达光学系统孔径面的光程差是

随机分布的,因而各点产生的信号光空间相位角是复随机量。不妨认为它在 $(-\pi, \pi)$ 区间内均匀分布,因而其统计平均值为0^[7]。从另一个角度来看,本振光功率为mW量级,而接收到的1km外房屋散射信号光功率为nW量级,因而 $|U_L|/|U_s|$ 约为 10^3 量级,即是说本振光与信号光在光敏面上任意位置合成场振幅的空间相位角 $\varphi - \varphi \approx -\varphi$ (这已得到实验证实^[8])。因此(1)式又可写成如下形式:

$$v(t) \propto \iint U_L U_s \cos [2\pi(f_s - f_L)t - \varphi] dA \quad (2)$$

若在光敏面上 φ 的分布在某一时间内紊乱,出现 π 相变区域,则有可能使探测器光敏面上各处产生的光电信号相互抵消,造成输出信号减小甚至没有信号输出。挡掉部分本振光后, π 相变区域减少甚至得以排除,凹陷就变浅或被填平了。由于利用的光功率同时减小,当然其余信号带的幅度也有所降低。图2的实验过程也可通过适当横移探测器使部分光能溢出光敏面而填平凹陷C,这样操作与使用障碍屏等效。凹陷出现与时间有关,说明 φ 的 π 相变区域不可能因分束片造成本振光出现干涉条纹而引起。

由此看来,腔长调制引起了激光束波前的畸变。实际上,根据统计光学的观点^[9],在压电陶瓷(PZT)上施加电压使它伸缩贴在上面的谐振腔端镜除平动以外还产生随机振动,从而引起激光初位相随机涨落,导致激光器输出模式复杂。这种复杂的模式直接影响激光波前,使其发生畸变。

作者留意了调制状态和非调制状态的激光束横模宏观特征,即使某些支线信号中断超过一半以上的时间,得到如图3所示的信号,其横模宏观特征也看不出变化。实验所用激光器的光束横模如图4所示,从左到右曝光时间逐渐增加。

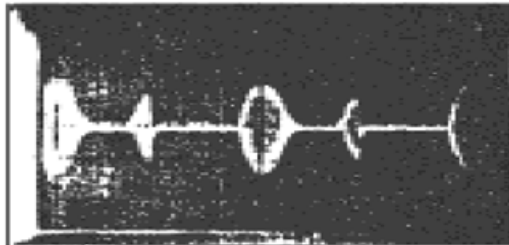


Fig. 3 The heterodyne signal with wide hollows'



Fig. 4 Shape of the laser beam horizontal mode

结 论 腔长调制要引起激光波前畸变,不同支线畸变程度不同,这种畸变可以引起外差系统探测器光敏面上不同区域的信号相互抵消,使输出总信号幅度降低甚至无信号输出。畸变的出现与时间有关,也就与驱动电压有关。从实验操作过程来看,这种现象具有圆对称性,腔内调制对激光束外围波前的影响更明显。

作者衷心感谢吴健教授和余学才博士对本工作的支持。

参 考 文 献

- [1] Stephen Jacobs, The optical heterodyne. *Electronics*, 1963, 36(28): 29~31
- [2] S. E. Harris, Stabilization and modulation of laser oscillators by internal time-varying perturbation. *Proc. IEEE*, 1966, 54(10): 1401~1413

- [3] Malvin Carl Teich, Homodyne detection of infrared radiation from a moving diffuse target. *Proc. IEEE*, 1969, **57**(5) : 786~ 792
- [4] Dietmar Letalick, Ingmar Renhom, Ove Steinvall, Measured signal amplitude distributions for a coherent FM-CW CO₂ laser radar. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(21) : 3927~ 393
- [5] Jean Louis Meyzonnette, Georges Saccomani, Imaging CO₂ laser radar a comparison of three techniques: LFM pulse compression, FMCW, CW. *Proc. SPIE*, 1988, **999** : 91~ 99
- [6] 电子科技大学学报, 1994, **23** 增刊, (激光雷达技术专集)
- [7] J. C. 丹蒂, 激光斑纹及有关现象. (中译本), 北京, 科学出版社, 1981,
- [8] 何 毅, 外差探测系统的相位匹配研究. 中国激光, 1997, **A24**(10) : 930~ 934
- [9] 威廉男, 秦克诚, 程路, 统计光学导论, 第七章, 天津, 南开大学出版社, 1987

Phenomenon of Laser Wavefront Intermittently Distortion Induced by Adjustment of the Resonant Cavity Length

He Yi

(*Research Institute of Applied Physics, University of Electronics, Science and Technology of China, Chengdu 610054*)

Yu Chengbo

(*Institute of Industry Managing of Chongqing, Chongqing 400050*)

(Received 29 March 1997; revised 16 June 1997)

Abstract The phenomenon of laser wavefront intermittently distortion induced by periodically adjusting the resonant cavity length of a CO₂ laser was observed. It leads to the signal discontinuity of a coherent FM-CW laser radar. The preliminary analyses indicate that this phenomenon is connected with the laser branch line. When this distortion occurs, the laser branch line doesn't shift and the microscopic characteristics of the transverse mode have no change.

Key words wavefront distortion, FMCW, laser radar.