

# CO<sub>2</sub> 激光自差信号的功率谱研究\*

戴永江 王 林\*\* 皮名嘉

(哈尔滨工业大学 应用物理系)

## 提 要

利用 10MHz 高速数据采集和处理系统分析了激光自差信号的功率谱。其功率谱分布在低频区;当多普勒频移增大时,自差信号的带宽增加,功率谱对频率的积分收敛于信号的功率。实验结果还表明,利用高速数据采集和分析的方法,比频谱分析仪有更多的优点。

关键词: 激光自差,光电信号,频谱分析。

## 一、引 言

Keyes 提出<sup>[1]</sup>激光自差现象是一个激光器发射时,测量相对多普勒频移的直接探测过程。这是一种不要本振光束,在接收信号光内包含各种频率分量之间自差拍频的探测方式。由于它的灵敏度较高,对激光器的频率稳定度要求较低,因而有可能作为一种结构较简单的测量多元目标相对速度的方法,很快受到人们的重视。1987年首次报道了 Fluckiger 等人<sup>[2]</sup>,用 Ar<sup>+</sup>激光器进行激光自差探测,1989年皮名嘉等人<sup>[3]</sup>用双频连续波 CO<sub>2</sub> 激光器观察到自差现象。

Keyes 等人由外差探测的天线理论得到了自差探测的载噪比(CNR),信噪比(SNR)及自差混频效率的结论。本文利用一个 10 MHz 高速数据采集及处理系统对其功率谱作了初步分析。

## 二、激光自差探测的基本原理

激光自差探测的原理方框图如图 1 所示。

当 CO<sub>2</sub> 激光束照射在多元目标上时,形成一定大小的光斑。由于光斑内各目标单元具有不同的径向速度,因而会产生不同的多普勒频移。考虑衍射极限内目标上的 A、B 两个点单元的相干散射光,设两点的速度为  $v_A$  及  $v_B$ ,所产生的多普勒频移为  $f_A$  及  $f_B$ 。两束散射信号经探测器混频后,便产生差频  $f_A - f_B$  的光电信号。因为光斑内有许多目标单元,那么产生的多普勒信号形成频谱。采用平方律包络探测,且探测器内部噪声为高斯分布,则信噪比为

$$\text{SNR} = \frac{(\text{CNR}/2)}{1 + (\text{CNR}/2\text{SNR}_{\text{sat}}) + 2\text{CNR}} \quad (1)$$

收稿日期: 1990年3月13日; 收到修改稿日期: 1990年5月23日

\* 国家自然科学基金资助的课题。

\*\* 现在山东建材学院。

式中 CNR 为自差载噪比,  $SNR_{sat}$  为饱和信噪比, 且有

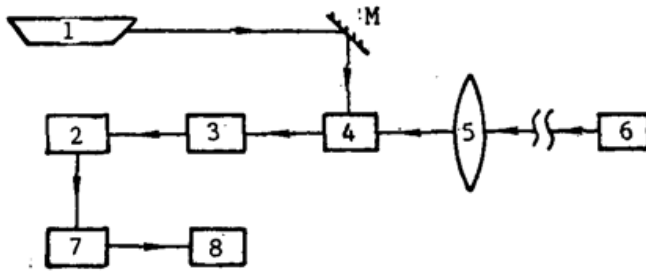


Fig. 1 The scheme of autodyne detection  
1—CO<sub>2</sub> laser; 2—bandpass filter; 3—MCT; 4—receive-emit antenna; 5—lens; 6—multi-target; 7—amplifier; 8—signal processing; M—mirror

$$SNR_{sat} = \begin{cases} \infty, & \text{对镜面反射信号} \\ 1, & \text{对漫反射信号} \end{cases} \quad (2)$$

这样, 对于镜面反射信号, 当  $CNR > 5$  时,  $SNR = (CNR/2)$ ; 对于一般漫反射信号, 当  $CNR > 5$  时,  $SNR = 1$ 。

频谱分析取系统输出信号序列  $x(n)$  的傅里叶变换式

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \exp[-i(2\pi/N)nk], \quad k=1, 2, \dots, N/2 \quad (3)$$

为得到  $N$  个独立的正弦波幅值, 用快速

傅里叶变换法使由  $N^2$  次相乘减少到  $N \log_2 N$  次\*。

CO<sub>2</sub> 激光自差信号是随机信号, 通过功率谱分析, 可了解随机信号的功率分布, 带宽等参数<sup>[5]</sup>。首先计算对于时间离散的, 广义平稳的随机过程  $f(n)$  的自相关函数

$$R(n) = E\{f(n+m) \cdot f(n)\}. \quad (4)$$

对于离散序列  $x(n)$ ,  $[0 \leq n \leq N-1, \text{在该区间外 } x(n) = 0]$  的相关函数为

$$R_{xx}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1-m} [x(n)x(n+m)], \quad |m| \leq N-1 \quad (5)$$

对  $R_{xx}(m)$  进行傅里叶变换, 如果信号的频率不在频率谱序列的各个离散点  $k(f_s/N)$  上 ( $f_s$  为采样频率,  $N$  为采样数据量), 现出现“频谱泄漏”<sup>[4]</sup>。因而需要对相关函数进行加权处理。进行续入汉宁窗数加权后的自相关函数

$$R_{xx}(m) = \begin{cases} R_{xx}(m) \cdot W(m), & (0 \leq m \leq L-1) \\ R_{xx}(M-m) W(M-m), & (M-L+1 \leq m \leq M-1) \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (6)$$

其中加权

$$W(m) = \sin^2\left(\frac{m}{N} \pi\right), \quad m=0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

由此, 还可计算加权后的互相关, 自协方差和互协方差等相关函数。其中, 窗函数还可用矩形窗。对上述过程进行快速傅里叶变换, 即可获得 CO<sub>2</sub> 激光自差信号功率谱, 功率谱分析采用了 Fortran 语言程序。并对整个频带进行分析。

### 三、激光自差信号计算机处理

CO<sub>2</sub> 激光自差探测的实验方框图, 如图 2 所示。实验中采用的 CO<sub>2</sub> 激光器其最高输出功率 6 W, 激光束经衰减及光栏后, 照在转动的圆盘上。圆盘的转速可由步进电机调节, 调节范围为 0~66 ipm。由于转盘上具有不同的径向速度各点可以认为是多元目标。探测器选用 HgCdTe 光导探测器, 其工作温度为 77 K。自差信号的波形通过示波器进行观测, 频

\* 只要将快速傅里叶变换法的子程序 Fast 编入程序, 对  $x(n)$  的  $N$  个数据点进行变换, 便可减少计算机运行时间<sup>[4]</sup>。

谱仪可以对 CO<sub>2</sub> 激光自差信号的频率谱进行监测,并用 X-Y 记录仪记录下来。实验中自差信号的频谱范围在 10<sup>8</sup> Hz 以下,数据采集系统的最高采样频率为 10 MHz,满足采样定理的要求,不会出现信息的丢失。直接对自差信号进行数据采集,通过接口送入微型计算机进行处理。调整光路,当转盘的转速分别为 52 ipm、46 ipm 和 24 ipm 时,在示波器上观察到相应的 CO<sub>2</sub> 激光自差信号幅度最强。启动数据采集与处理系统,选择适当的采样时间和数据量。采样时间为 6.4 μs,每次采集的数据量为 8k。编制快速傅里叶变换及功率谱软件等数据文件,先给出图 3 的数据采样曲线,再利用 Fortran 语言,将快速傅里叶变换软件更换为 Fast 子程序,得出自差信号功率谱。

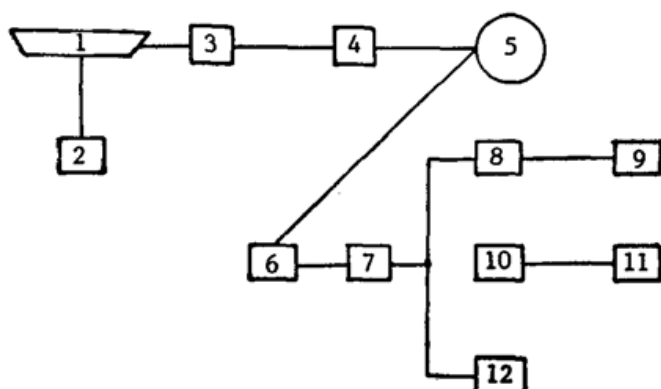


Fig. 2 The experimental scheme of CO<sub>2</sub> laser autodyne detection

1—O<sub>2</sub> laser; 2—laser source; 3—attenuator; 4—diaphragm; 5—rotating disc; 6—MCT; 7—preamp; 8—data acquirer; 9—IBM computer; 10—spectrum meter; 11—X-Y recorder; 12—oscillograph

图 4 是转速为 52 ipm、采样时间为 6.4 μs 时,计算机分析出的 CO<sub>2</sub> 自差信号功率谱分

图 4 是转速为 52 ipm、采样时间为 6.4 μs 时,计算机分析出的 CO<sub>2</sub> 自差信号功率谱分

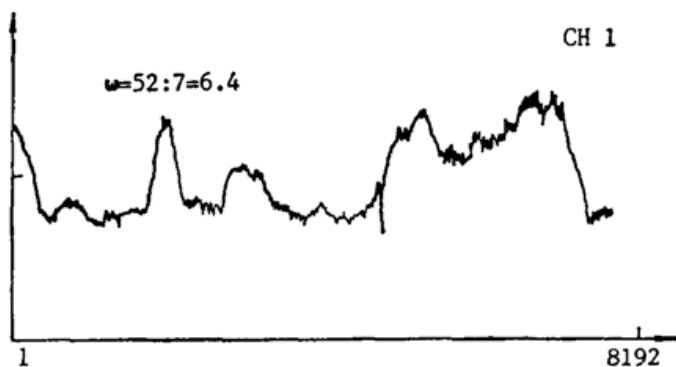


Fig. 3 The change of sampling data of CO<sub>2</sub> laser autodyne detection with rotating-speed in 52 ipm

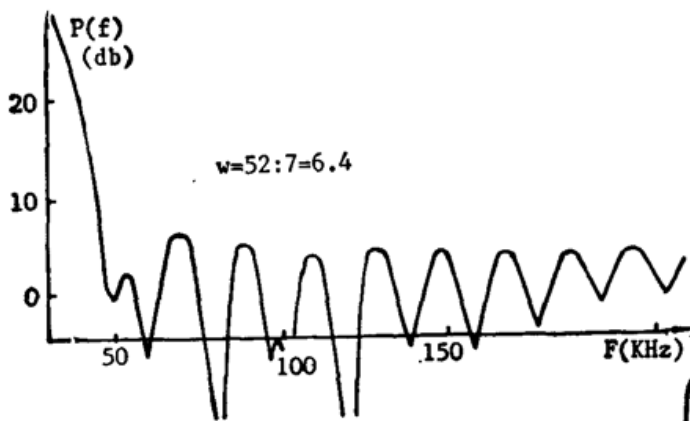


Fig. 4 The change of power spectrum of CO<sub>2</sub> laser autodyne detection with rotating-speed in 52 ipm

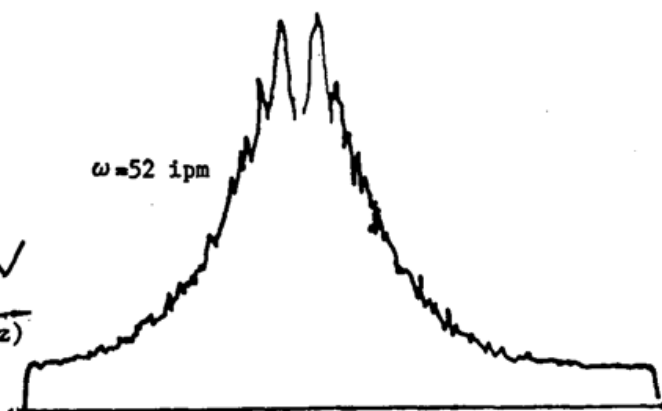


Fig. 5 The change of power spectrum of CO<sub>2</sub> laser autodyne detection with rotating-speed in 52 ipm by X-Y recorder

布曲线;图 5 为相应转速下,由 X-Y 记录仪记录频谱仪分析的结果。由于频谱仪是在整个频率轴上对信号进行分析,因而出现左、右对称分布。对其他转速如 46 ipm、24 ipm 也作了上述三条曲线。仅从曲线右侧可以看到:不论计算机的数字化处理,还是频谱仪的模拟化处理,两者都表明,CO<sub>2</sub> 激光自差信号都是随着频谱的增加而减弱;随转速的减小,频谱宽度在减小。

## 四、论 讨

(1) 从功率谱分布曲线可以看出:自差信号功率分布在低频区,随着转速增大,自差信号的带宽加宽,这与理论预测相一致<sup>[1]</sup>。

(2) 根据帕色伐尔定理,功率谱对频率的积分应收敛于信号的功率,实验结果表明,曲线呈下降趋势,积分收敛。

(3) 功率谱出现负值,其原因是用于计算机处理的功率谱的相关函数,经过加权(窗)处理。除非窗函数对于所有频率均为正,否则经傅里叶变换后,得到的功率谱会出现负值。

(4) 频谱仪分析在低频处信号出现低谷。其原因在于自差信号恰好处于频谱仪的非正常工作区。

(5) 计算机对 CO<sub>2</sub> 激光自差信号的处理有如下优点:

(i) 在全频域内结果准确,采样频率高,可以不受频率响应范围限制;

(ii) 处理系统体积小、重量轻、速度快,不会引入噪声。选用高级微机,可大大提高数据处理速度或进行实时处理。

## 参 考 文 献

- [1] R. J. Keyes; *Rev. Scient. Instrum.*, 1986, **57**, No. 10 (Oct), 519.
- [2] D. U. Fluckiger *et al.*; *Appl. Opt.*, 1987, **26**, No. 2 (15 Jan), 318~325.
- [3] Pi Mingjia, Sun Dongsong *et al.*; *Proc. SPIE*, 1989, Vol. 1181 (Jun), 51~55.
- [4] 罗纳德等;《傅里叶变换及其应用》,(人民邮电出版社,北京,1986),408~448。
- [5] 吴湘其等;《数字信号处理技术及其应用》,(人民铁道出版社,北京,1986),668~676。

## Power spectrum of the autodyne signal of CO<sub>2</sub> laser\*

DAI YONGJIANG AND PI MINGJIA

(*Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology*)

WAN LIN

(*Shandong Institute of Building Materials*)

(Received 13 March 1990; revised 23 May 1990)

### Abstract

The power spectrum of the autodyne signal of CO<sub>2</sub> laser was analysed by the high-speed data acquisition and processing system at 10 MHz. The power spectrum is distributed in the low-frequency region. The bandwidth of the autodyne signal is increasing with the Doppler frequency shift. The integral of the power spectrum for frequency is converged at the power of the autodyne signal. The experimental results show that the analytic method by high-speed data acquisition and processing has more advantages over the spectrum analyzer.

**Key words:** laser autodyne; photo electric signal; spectrum analysis.