

# 一种采用微处理机控制的 激光微光束测量系统

郭乃健 宋益澄 赵杰雄 吴淳

(暨南大学)

**提要:** 本文介绍了一台以 Z-80 微处理机为主机的光强数据采集系统, 并将它用于激光微光束的半径测量。对于微米量级的光束, 测量误差为 1%。

## A microprocessor controlled laser microbeam measurement system

Guo Naijian, Song Yicheng, Zhao Jieiong, Wu Chun

(Jinan University)

**Abstract:** This paper introduces the light intensity data collection system of a microprocessor set, with a Z-80 microprocessor as its main unit, in the radius measurement of laser microbeams. For light beams of the order of micrometers, the error is about 1%.

### 一、前言

随着激光应用技术的广泛开展, 对激光光束的几何参数的要求也不断提高。例如, 在生物遗传工程中的激光“刀”、医学中的激光治疗、激光唱片所用的“唱针”以及激光刻线、激光精密加工、测量等方面, 往往对激光束半径大小有较严格的要求, 有时甚至达到微米大小的量级。为此, 已有不少关于激光微束仪的报道<sup>[1]</sup>, 并发展了一些测量激光微束的方法<sup>[2,3]</sup>。

近年来, 微处理机的崛起, 不但改变了传统的提取测量信息的方法, 还可以对测量结果自动进行分析、综合和作各种处理, 大大提

高了测量效率。我们以 Z-80 微处理机为主机, 制成一个采集光强数据的系统, 并将其用于激光微光束半径的实时测量, 收到了很好的效果。

整个系统所用的成本, 较一台中速示波器为低, 并能贮存及直接显示测量结果, 提高了测量效率及精度。

### 二、基本原理

采用稳定腔的激光器所发出的激光, 以高斯光束的形式在空间传输。对 TEM<sub>00</sub> 模, 高斯光束的强度分布  $I(x, y)$  为

收稿日期: 1983年10月15日。

$$I(x, y) = \frac{2P_0}{\pi\omega^2} \exp\left(-\frac{2x^2 + 2y^2}{\omega^2}\right) \quad (1)$$

式中,  $P_0$  是激光的总功率,  $x, y$  是垂直于光轴的平面上的坐标, 其原点位于光束中心。  $\omega$  是按  $1/e^2$  定义的光束半径。

当用一刀口沿  $x$  轴平移, 垂直地对激光束进行切割时, 若刀口的位置为  $x$ , 则未被刀口遮挡的那部分激光束的功率由下式给出:

$$P(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_x^{\infty} \frac{2P_0}{\pi\omega^2} \exp\left(-\frac{2x^2 + 2y^2}{\omega^2}\right) dx dy$$

$$= P_0 \int_x^{\infty} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\omega} \exp\left(-\frac{2x^2}{\omega^2}\right) dx \quad (2)$$

因此,  $P(x)/P_0$  由误差函数给定。利用(2)式我们便可由  $P(x)/P_0$  曲线得到  $\omega$ 。在  $r \gg \omega$  的条件下, 可以用带有刀口的旋转斩波器代替平移的刀口, 则光束半径  $\omega$  的大小为:

$$\omega = 0.7803 \Omega r (t_2 - t_1) \quad (3)$$

其中,  $\Omega$  是斩波器的角速度,  $r$  是从转轴中心到激光束光轴的距离, 而  $(t_2 - t_1)$  是  $P(x)/P_0$  从 0.9 变化到 0.1 的时间间隔。

Yasuzi Suzaki<sup>[2]</sup> 等人证明了即使对微米量级半径的高斯光束, 式(3)也是可行的。根据(3)式, 在我们研制的系统中, 利用微处理机及其外围元件, 采集刀口扫描时光强的数据, 并以光强最大值的 0.9 及 0.1 倍作为时间闸门的启闭信号, 获得时间间隔  $(t_2 - t_1)$ , 从而求出激光束的半径。

### 三、测量系统的设计

整个系统大致分为数据采集及闸门时间测定两大部分。数据采集部分包括光流输入、A/D 转换等电路; 闸门时间测定部分包括数据锁存、D/A 转换、电压比较、计数器部分。由 TP801 微处理机进行数据处理及对外部设备进行控制及监视。测量的结果通过微处理机运算, 最后以十进制数的形式在微处理机的显示屏上显示出来。系统的工作原理框图如图 1 所示。

下面分述本系统的设计特点。

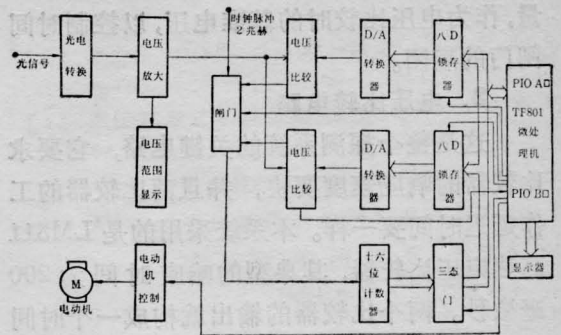


图 1 探测系统工作原理框图

#### 1. TP801 微处理机

微处理机担负整个系统的测量控制和数据运算的任务。系统中以 PIO 的 A 口作为数据口, 用以对外部设备输出数据和接收外部设备提供的数据; PIO 的 B 口则用作控制和监视外部设备, 以协调整个系统的工作。

#### 2. A/D 转换电路

在测量中, 为获得光束完全没有被斩波器的刀口遮挡时的光强最大值的数字量, 一般需要使用 A/D 转换器。但为了提高元件的利用率并简化电路, 本系统没有使用专门的 A/D 转换器, 而是用了一块 DAC-IC8BC 的 D/A 转换器和一块 LM311 的电压比较器, 利用软件, 采用反馈式逐位比较法来完成 A/D 转换。这部分的电路如图 2 所示。

在获得光强最大值的数字量后, 该电路在 PIO B 口的控制下, 恢复数模转换功能, 与另一数模片配合, 将微处理机提供的光强最大值的 0.9 及 0.1 倍的数字量转换为模拟

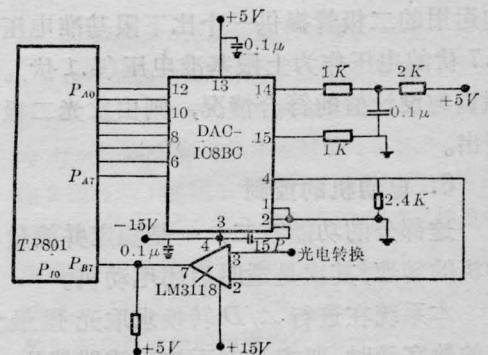


图 2 A/D 转换电路

量,作为电压比较时的基准电压,以控制时间闸门的启闭。

### 3. 电压比较电路

这是整个探测系统的关键电路,它要求比较器的响应速度要快,并且两比较器的工作延迟时间要一样。本系统采用的是 LM311 高速电压比较器,其典型的响应时间为 200 毫微秒。两个比较器的输出就构成一个时间闸门。

### 4. 计数器及显示

在闸门开启期间,用计数器对通过闸门的脉冲进行计数。本探测系统使用的是 7493 异步计数器,其工作速度为 16 兆赫,共使用了 4 片,构成 16 位计数器,计数结果通过三态门分高八位和低八位装入微处理机,通过微机运算,由其显示屏直接显示出光束半径的大小。

### 5. 电压范围显示

本系统使用的数模转换器最高输出电压为 5 伏。因此,光电转换后输入的模拟量不能大于 5 伏,否则会在模数转换时丢失一些量而造成误差。但如果光电转换后输入的最大模拟量过小,则易受到干扰,信噪比下降,也易产生误差。所以,需要通过调整反馈电阻来调整输入到模数片的电压值,使最大光强值的模拟量保持在我们指定的范围内。本系统中采用两个接成比较器形式的运算放大器来构成一窗口比较器,以 2CW11 稳压管为下限比较器提供基准电压(3.4 伏),以正向运用的二极管提供一个比下限基准电压高 0.7 伏的电压作为上限基准电压(4.1 伏)。模拟量与设计值的符合情况,则由发光二极管指出。

### 6. 电动机的控制

这部分的功能有二,一是稳定并测量电动机的转速,其次是适时启闭电动机。

本系统在进行 A/D 转换求取光强最大值的数字量时,要求光束不被斩波器挡住。在求出这一数字后便启动电动机进行测量,测

量结束后使斩波器停于光束不被遮挡的位置,以准备下一次的测量。电动机转速采用稳流办法加以稳定,同时,在斩波器转盘上开挖有一定长度的通光槽,用本机脉冲测量置于槽后的另一光敏元件的接受光照时间,以此测定电动机转速。

## 四、测量过程及结果

测量开始时,微处理机首先对外部设备清零,然后执行求取光强最大值数字量的程序,并对求得的光强最大值的数字量进行运算,求出其 0.9 及 0.1 倍之值。这时,模数转换器恢复数模转换功能,并电动机开始启动,利用软件作 2 秒的延时,待电动机转速稳定后,便分别对两个八 D 触发器装入上述的 0.9 及 0.1 倍之值,使之进行 D/A 变换,得到的两个模拟量分别加于两个电压比较器上,通过与电压放大器送来的电压值进行比较,启闭脉冲闸门,由计数器记录下闸门开启期间的脉冲数,计数结果装入微机。微处理机对收集到的  $\Omega$  及  $(t_2 - t_1)$  的数据进行运算,最后在显示器给出测量结果。

利用透镜聚焦可获得光斑很小的微光束, Kogelnik<sup>[4]</sup> 给出了经焦距为  $f$  的透镜变换后的束腰半径的关系式:

$$\frac{1}{\omega_2^2} = \frac{1}{\omega_1^2} \left(1 - \frac{d_1}{f}\right)^2 + \frac{1}{f^2} \left(\frac{\pi \omega_1}{\lambda}\right)^2 \quad (4)$$

其中,  $\omega_2$  是变换后的光束束腰半径,  $\omega_1$  是原光束的束腰半径,  $d_1$  是透镜和原来光束束腰之间的距离,  $\lambda$  是波长。

对于  $\omega_1 = 0.5$  毫米,  $d_1 = 124$  厘米,  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ ,  $f = 43.4$  毫米,由(4)式求得:

$$\omega_2 = 12.55 \text{ (微米)}$$

在同样条件下,用旋转斩波器对激光扫描,  $\Omega = 19$  转/分,  $r = 84$  毫米,微处理机测得

$$\omega_{测} = 12.69 \text{ (微米)}$$

相对误差  $(\omega_2 - \omega_{测}) / \omega_2 = 1.12\%$ 。

(下转第 717 页)

须随时注意。

将(6)代入(5), 出现  $\eta/B(z)g_n$  项, 其量纲为  $[1/T]$  属频率项。故(7)式实际上描写局部地方上光脉冲频率随时间的变化, 即啁啾过程。脉冲宽度窄, 色散大, 介质长, 频率扫描也严重。

加宽与啁啾造成信号的失真, 在大多数情况这些效应要设法克服。位相共轭镜能否用来补偿脉冲的加宽和啁啾呢? 利用上述的时空类比理论可以知道, 光束横向截面的扩大类比于脉冲宽度在色散介质中的加宽, 而光束波前的曲率半径的变化类比于脉冲的啁啾效应。显然, 既然位相共轭镜技术可以补偿空间上的畸变, 也当然能够补偿时间分布上的畸变。

在(3)、(4)式中主要是处理高斯型的光束和脉冲。但是, 已经证明, 任何单色波的空间分布可以分解为许多传播模, 它们形成一组完全正交的函数满足空间方程(4)<sup>[7]</sup>, 同理, 任意的脉冲形状也可以分解为许多满足方程(3)的模式。因此, 实验已经证明空间分布的畸变可以用位相共轭术补偿, 任何形状的脉冲的加宽与啁啾原则上也应该为位相共轭术所补偿。Yariv 等采用传播波的理论,

(上接第 724 页)

改变  $f$ 、 $d_1$ 、 $\Omega$ 、 $r$  等实验条件, 对理论值  $\omega'_2 = 52.5$  微米的聚焦光束进行测量, 测得  $\omega'_{测} = 52.9$  微米。相对误差为  $-0.8\%$ 。

重复测量表明, 系统的精度为  $\pm 1\%$ 。

## 五、讨 论

本系统用刀口扫描, 故需考虑衍射影响。

由于聚焦后高斯光束的束腰位置不与聚焦透镜的焦点重合<sup>[4]</sup>, 因此, 刀口所产生的衍射图样应是一种菲涅尔衍射。对于刀口的菲涅尔衍射已有很详尽的讨论<sup>[5]</sup>, 这里不再赘述, 而只讨论为消除其影响而采取的措施。

在本文所述的实验条件下, 可以计算得前四级衍射亮纹最大光强的点距刀口的几何

提出并在理论上证明用非线性共轭术补偿超短脉冲的加宽<sup>[7]</sup>, 这与上述时空类比的推论基本上是一致的。

理论上也已经证明, 在非线性介质中光束波面会畸变, 若采用位相共轭镜, 就可以补偿这种畸变。从时空类比来看, 这一结果对于短脉冲在非线性介质传输中出现的脉冲调制也应该适用。现在已经清楚, 介质吸收、散射和自聚焦等因素造成的光束畸变, 是不能用位相共轭术恢原的。同理, 这些因素造成的脉冲变形和频率调制, 也是不能用位相共轭术来克服的。

## 参 考 文 献

- [1] A. Yariv; *Quantum Electronics*, 2nd ed. Wiley, New York, 1975, p. 256.
- [2] M. Born, E. Wolf; “光学原理”(中译本)上册, 科学出版社, 1978.
- [3] J. W. Goodman; “傅里叶光学导论”(中译本), 科学出版社, 1976.
- [4] A. Yariv; *Introduction to Optical Electronics*, 2nd ed. Holt, New York, 1976.
- [5] S. A. Akhmanov *et al.*; *Sov. Phys., JETP*, 1969, **28**, 748.
- [6] H. Kogelnik, T. Li; *Proc. IEEE*, 1966, **54**, 1312.
- [7] A. Yariv *et al.*; *Opt. Lett.*, 1979, **4**, 52.

影界的距离(在接收平面上)分别为 0.0069、0.0132、0.0178 和 0.0213 厘米。可见衍射图样的宽度要比光斑本身尺寸(0.0012 厘米)要宽得多。为了保证测量的准确性, 系统中采用了接收面积为 2 厘米<sup>2</sup>的大面积硅光电池作为光电接收器。实验证明这样是可行的。另一方面, 使接收器尽量靠近刀口, 也有利于提高测量的准确性。

## 参 考 文 献

- [1] 邱锦辉等; 《应用激光》1981, **1**, No. 1, 42.
- [2] Y. Suzuki *et al.*; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 12, 2809.
- [3] Y. C. Kiang, R. W. Lang; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 9, 1296.
- [4] H. Kogelnik; *BSTJ*, 1965, **44**, 445.
- [5] F. A. Jenkins, H. E. White; “Fundamentals of Optics”, Fourth Edition, McGraw-Hill Kogakusha, LTD, 1976, p. 378.