

文章编号: 0258-7025(2003)03-0263-04

激光大屏幕显示系统中振镜扫描的工作原理及图像失真研究

刘才明

(浙江大学物理系, 浙江 杭州 310027)

摘要 介绍了智能激光大屏幕显示系统图像输出的工作机理,通过对振镜扫描的工作原理及振镜偏转角与大屏面上激光扫描点所对应的坐标关系的研究,探讨了消除振镜扫描图像失真的方法。

关键词 信息光学;激光大屏幕显示;振镜扫描;图像失真

中图分类号 TN 249;TN 873⁺.92 **文献标识码** A

Study on Working Principle and Graphic Distortion of Galvanometer Scanning in Laser Large Screen Displayer

LIU Cai-ming

(Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract In the paper, the working principle of graphic output by wise laser large screen displayer is introduced. By study on the working principle of galvanometer scanning and the relations between with the deflection angle of galvanometer and the scanning point of laser in large screen, the methods of correcting the graphic distortion due to galvanometer scanning are investigated.

Key words information optics; laser large screen display; galvanometer scanning; graphic distortion

1 引言

近二十年以来,随着激光技术、数字电子技术及光学信息处理技术等方面的飞速发展,激光视频图像显示技术也取得了长足的进步^[1]。其中多通道智能激光大屏幕显示系统由于具有色彩鲜艳、显示面积大、亮度高、对比度高及分辨率高等特点,正在以下几个领域中获得日益广泛的应用:1) 作为展示手段应用于商业广告及大型体育赛事的开、闭幕式(如悉尼奥运会);2) 作为娱乐设施应用于市政广场及主题公园;3) 作为信息实时显示应用于军事指挥、科研生产及交通监控等过程。作为激光显示系统中的核心部件,光学振镜由于具有转动惯量小、转速快、响应时间短及固有频率高等特点^[2],被认为是用作激光图像扫描的理想器件,其在视频显示过程中起到非常关键的作用。本文结合我校自行研制开发

的三通道(红、黄、绿三色输出)智能激光大屏幕显示系统介绍了其图像输出的工作机理,并通过对扫描振镜的工作原理及振镜偏转角与大屏面上激光扫描点所对应的坐标关系的研究,探讨了消除振镜扫描图像失真的方法。

2 图像输出的工作机理

以单通道智能激光大屏幕显示系统为例,其图像输出的工作原理图如图1所示。由激光器发出的光束直接入射至固定在 x 方向振镜上的全反镜 x ,再反射至固定在 y 方向振镜上的全反镜 y ,经镜 y 反射后投射到大屏幕 oxy 平面,形成扫描点。任何一个复杂的平面图像均可通过数字化图形输入仪变换成数字信号输入至计算机,经编程计算转换成电流控制信号再输入驱动器,通过驱动器分别对 x 方向及

收稿日期:2002-01-29

作者简介:刘才明(1964—),男,浙江大学物理系副教授,主要从事激光物理研究。E-mail: phyliucm@zju.edu.cn

y 方向上振镜偏转角的控制而实现对图像扫描。

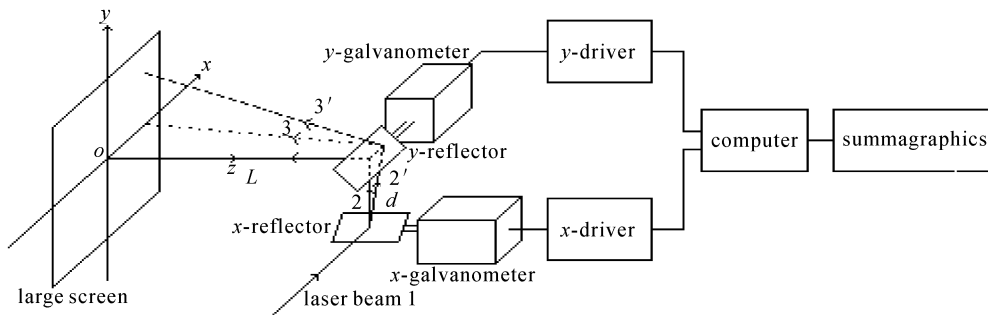


图 1 图像输出的工作原理图
Fig.1 Work principle of the picture output

3 振镜偏转角与大屏幕扫描点坐标的对应关系

在图 1 所示的坐标系中,激光束沿 x 轴正向入射,全反镜 x 绕 z 轴转动,全反镜 y 绕 x 轴转动。当激光垂直入射到大屏幕时,激光束在大屏幕上的投影为 $oxyz$ 坐标系的原点。此时镜 x 及镜 y 的偏转角 α, β 均为 0。则由激光器射出的光束 1 所在的直线方程为

$$\begin{cases} x = x_0 + ct \\ y = -d \\ z = L \end{cases} \quad (1)$$

该直线与全反镜 x 所在的平面交于点 $(0, -d, L)$, 由于镜 x 所在平面平行于 z 轴,故经镜 x 反射后的光束 2 仍与 oxy 平面平行。当镜 x 绕 z 轴转动 α 角时,由图 2 知反射光束 $2'$ 偏转角为 2α 。故知反射光束 $2'$ 的单位向量为 $(\sin 2\alpha, \cos 2\alpha, 0)$, 且反射光束 $2'$ 与镜 y 交于点 $(d \tan 2\alpha, 0, L)$ 。由于全反镜 y 的镜面平行于 x 轴,故知光束 $2'$ 经其反射后在 x 轴方向的单位向量模不变。当镜 y 的偏转角为 0 时,反射光束 3 的单位向量为 $(\sin 2\alpha, 0, -\cos 2\alpha)$, 当镜 y 绕 x 轴转动 β 角时,由图 3 知反射光束 $3'$ 偏转角为 2β , 这时反射光束 $3'$ 的单位向量为 $(\sin 2\alpha, \cos 2\alpha \sin 2\beta, -\cos 2\alpha \cos 2\beta)$, 故反射光束 $3'$ 的直线方程为

$$\begin{cases} x = d \cdot \tan 2\alpha + \sin 2\alpha \cdot ct \\ y = \cos 2\alpha \sin 2\beta \cdot ct \\ z = L - \cos 2\alpha \cos 2\beta \cdot ct \end{cases} \quad (2)$$

令上式中 $z = 0$, 即可得到光束在大屏幕 oxy 面上的扫描轨迹点坐标方程

$$\begin{cases} x = d \cdot \tan 2\alpha + L \cdot \frac{\tan 2\alpha}{\cos 2\beta} \\ y = L \cdot \tan 2\beta \end{cases} \quad (3)$$

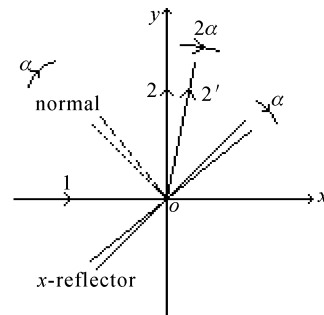


图 2 反射光束 $2'$ 的偏转角
Fig.2 Diflection angle of $2'$

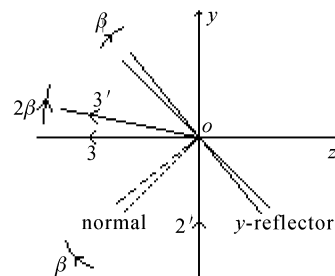


图 3 反射光束 $3'$ 的偏转角
Fig.3 Diflection angle of $3'$

4 振镜扫描的图像失真

4.1 振镜扫描的枕形失真

由(3)式知,当镜 x 固定,镜 y 连续偏转时,

1) $\alpha = 0$, 有

$$\begin{cases} x = 0 \\ y = L \cdot \tan 2\beta \end{cases} \quad (4)$$

此时扫描轨迹为沿 y 轴方向的直线。

2) $\alpha \neq 0$, 有

$$\begin{cases} x = d \cdot \tan 2\alpha + L \cdot \frac{\tan 2\alpha}{\cos 2\beta} \\ y = L \cdot \tan 2\beta \end{cases}$$

$$\text{即 } 1 + \left(\frac{y}{L}\right)^2 = \left(\frac{x - d \cdot \tan 2\alpha}{L \cdot \tan 2\alpha}\right)^2 \quad (5)$$

式中 α 为一不为零的常数, β 为连续变量, 此时扫描轨迹为双曲线。

当镜 y 固定, 镜 x 连续偏转时, 有

$$\begin{cases} x = d \cdot \tan 2\alpha + L \cdot \frac{\tan 2\alpha}{\cos 2\beta} \\ y = L \cdot \tan 2\beta \end{cases} \quad (6)$$

式中 β 为一常数, α 为连续变量, 此时扫描轨迹为平行于 x 轴的直线。

综上所述可知, 在振镜扫描系统中当反射光束 $2'$ 不垂直于全反镜 y 时, 将在纵向扫描形成枕形失真, 如图 4 所示。若定义失真度为 $\frac{x_{\beta_{\max}} - x_{\beta=0}}{x_{\beta=0}}$, 则有扫描线的枕形失真度

$$\frac{x_{\beta_{\max}} - x_{\beta=0}}{x_{\beta=0}} = \frac{1 - \cos 2\beta_{\max}}{\left(1 + \frac{d}{L}\right) \cos 2\beta_{\max}} \quad (7)$$

显然, 枕形失真主要与振镜 y 的偏转角有关。在激光大屏幕显示系统中, 若 $\beta_{\max} = 7^\circ$, $d = 1 \text{ cm}$, $L = 20 \text{ m}$, 则 $\frac{x_{\beta_{\max}} - x_{\beta=0}}{x_{\beta=0}} = 3.0\%$, 若 $x_{\beta=0} = 1 \text{ m}$, 则 $x_{\beta_{\max}} - x_{\beta=0} = 3.0 \text{ cm}$ 。

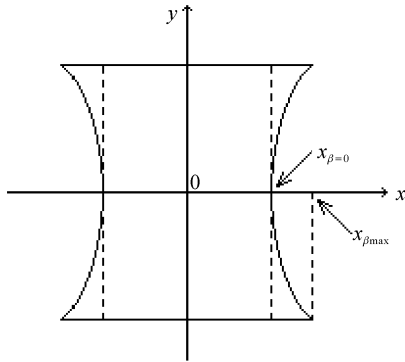


图 4 枕形失真

Fig. 4 Pin-cushion distortion

4.2 振镜扫描的非线性失真

由于振镜是角度偏转, 而扫描线则按线度 x, y 计算, 且有 x 正比于 $\tan 2\alpha$ (β 固定), y 正比于 $\tan 2\beta$ (α 固定), 又因为 $\tan \theta > \theta$, 故扫描是非线性的。其非线性失真度为 $\frac{\tan 2\theta - 2\theta}{\tan 2\theta}$, 若 $\theta_{\max} = 7^\circ$, 则非线性失真度为 2.0% 。

4.3 振镜扫描的响应失真

振镜扫描时运动规律的动力学方程为^[3]

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + P \frac{d\theta}{dt} + D\theta = \frac{D}{K} I_0 \quad (8)$$

式中 J 为转动惯量, P 为阻尼系数, D 为弹性常数, K 为角灵敏度, I_0 为输入电流强度(为一阶跃脉冲)。

显然, 振镜的最佳工作状态为临界阻尼状态, 此时振镜到达稳定角所需的步响应时间 t_M 为最短。以输入图形为平行于 x 轴的直线 AB 为例, 若振镜输入的阶跃脉冲宽度小于 t_M , 其工作的 $\theta \sim t$ 特性曲线如图 5 所示(欠阻尼状态), 则振镜扫描的轨迹将产生响应失真。

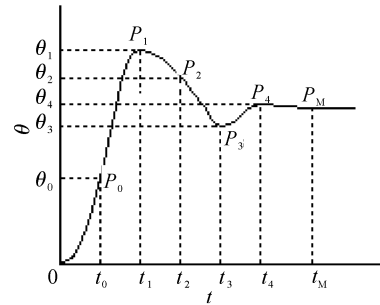


图 5 $\theta \sim t$ 特性曲线

Fig. 5 Characteristic curve of $\theta \sim t$

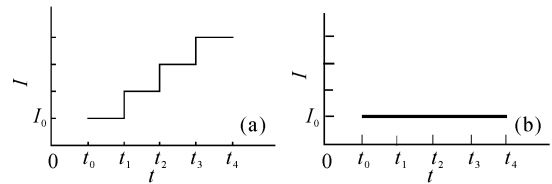


图 6 振镜 x (a) 和振镜 y (b) 的输入电流

Fig. 6 Input current of x galvanometer (a) and y galvanometer (b)

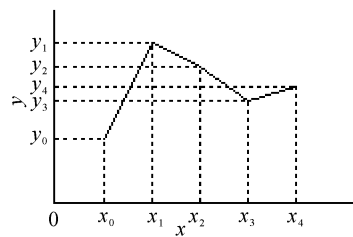


图 7 直线 AB 的响应失真

Fig. 7 Respond distortion of straight line AB

如图 6 所示, 令输入到 x 振镜上的一系列阶跃脉冲的脉宽均为 Δt , 每个阶跃脉冲均工作在相应的 $\theta \sim t$ 特性曲线的 OP_0 段; 输入到 y 振镜上的为一恒定阶跃脉冲, 脉宽为 $4\Delta t$, 工作在特性曲线 P_0P_4 段。设在 t_0 时刻 A 点在屏幕上的坐标为 (x_0, y_0) , x 振镜每隔 Δt 时刻便相应地递增一角位移 $\Delta\theta = \theta_0$, 相应地在屏幕上 x 轴方向的光点位置为等步长变化 $x_0 \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3 \rightarrow x_4$; 而振镜 y 在该段时间内相应的

角位置变化是 $\theta_0 \rightarrow \theta_1 \rightarrow \theta_2 \rightarrow \theta_3 \rightarrow \theta_4$, 光点的位置变化为 $y_0 \rightarrow y_1 \rightarrow y_2 \rightarrow y_3 \rightarrow y_4$, 即相应的光点位置相继为 $A(x_0, y_0), B_1(x_1, y_1), B_2(x_2, y_2), B_3(x_3, y_3), B(x_4, y_4)$ 。于是就形成了 AB 段类似于 $\theta \sim t$ 特性曲线中 P_0P_4 段形状(波浪形)的响应失真, 如图 7 所示。

5 图像失真的校正

5.1 非线性失真的消除

由 4.2 讨论知, 非线性失真度在振镜 x 及振镜 y 的两个方向上相等, 故可通过对输入阶跃脉冲 I_0 的控制而得到校正, 亦可采用附加变焦光学系统的方法进行校正^[4,5]。

5.2 枕形失真的消除

事实上, 应用映像原理即可消除振镜扫描的枕形失真。

由 3 中的讨论知, 对应于大屏幕所显示的图形上任意点 $P(x, y)$, 均存在一与之对应的确定值 α, β 。也就是说我们只要能精确控制振镜 x 及振镜 y 的偏转角 α 及 β 的值即可扫描到 P 点。若将大屏幕上所需显示的图形或文字通过数字化图形输入仪逐点输入到计算机中, 并取图形输入仪中的 $\alpha x y$ 坐标系与大屏幕上对应的 $\alpha x y$ 坐标系一致, 则计算机将逐点

运算出各点所对应的 α, β 角变换, 再通过对驱动器阶跃脉冲 I_0 输出的控制而实现振镜扫描, 从而在大屏幕上获得与图形输入仪所采集到的图像完全一样的放大图像效果。

5.3 响应失真的消除

临界阻尼状态是振镜的最佳工作状态, 振镜的步响应时间以临界阻尼状态为最短。由 4.3 中的讨论知, 若令输入的阶跃脉宽大于等于振镜的步响应时间, 则响应失真即可消失。

参 考 文 献

- 1 Song Feijun, S. Jutamulia. Deal with Modern Optical Information [M]. Beijing: Press of Beijing University, 1998 (in Chinese)
- 2 G. J. Brakenhoff, P. Blom, P. Barends. Confocal scanning light microscopy with high aperture immersion lenses [J]. *J. Microsc.*, 1979, **117**(2):219~232
- 3 Zhuge Xiangbin, Wu Dayuan, Shi Baoju. Study on improving the optical scanners output characteristics in laser large screen display [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1990, **17**(3):182~185 (in Chinese)
- 4 J. R. Weisz. Software calibration of scan system distortions [C]. *SPIE*, 1991, **1454**:265~271
- 5 A. C. Macklenburg. Two-mirror, two-axis, rapid frame rate galvanometer scanning using a novel resonant scannerl dynamic focusing mechanism [C]. *SPIE*, 1987, **767**:536~542