

文章编号: 1001-3806(2003)04-0337-02

双振镜扫描几何失真的硬件校正

郭 飞 胡 兵 应花山 洪利民

(华中科技大学激光技术与工程研究院, 武汉, 430074)

摘要: 通过分析双振镜 2 维扫描光学系统的成像原理, 导出此扫描系统几何失真公式。根据失真公式设计电子线路, 对失真进行校正, 从而获得校正后的完善图形。这一校正技术在激光标记系统中得到应用。

关键词: 激光标记; 双振镜扫描; 几何失真; 硬件校正

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A

Hardware correction for distortion of dual galvanometer scanning

Guo Fei, Hu Bing, Ying Huashan, Hong Liming

(Institute of Laser Technology & Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: Though analyzing the imaging theory of dual galvanometer scanning system, the distortion formula of the scanning system were deduced. Based on the formula, one circuit was designed to correct the distortion and perfect pictures were achieved. This correcting technology has been used in laser marking systems.

Key words: laser marking; dual galvanometer scanning; geometry distortion; hardware correction

引 言

双振镜扫描是一种在光栅或矢量模式下对 X - Y 平面场进行扫描的简单、低成本方式。这种扫描方式的主要缺点是其在双轴平面场扫描时存在固有的几何失真。主要包括枕形失真、线性失真和在平面上成像光束的焦点误差。通过在双振镜扫描系统后增加一个 f 物镜, 可以对焦点误差进行校正, 使得激光束能够聚焦在同一焦平面上, 并对扫描系统进行一定的失真校正, 但其无法实现对 X 轴枕形失真的校正, 并产生 Y 轴方向的桶形失真。可增加一个校正模块对扫描系统的几何失真进行校正以获得完善的结果。

1 失真产生的原因

物镜前双振镜扫描系统主要由高精度伺服电机、电机驱动板、反射镜、 f 物镜及直流电源组成。其中反射镜是由振镜电机来控制; 而振镜电机的偏转是由 D/A 卡输出的位置控制信号通过电机驱动板来控制的。因此, 计算机控制 D/A 输出, 从而使光束按照设定的轨迹运行。

当主控计算机通过 D/A 转换将数字信号转换成模拟信号来控制振镜偏转时是按照如下的像点坐标与振镜摆角的线性关系来处理的, 即: $X = (+2f \alpha_x)$; $Y = (+2f \alpha_y)$ 。式中, f 为物镜焦距; α_x , α_y 分别为两振镜偏转角度; 正负号的选取与坐标系的选择相对应。

从下面推导的像点坐标与振镜摆角关系中可以看到: 从纯几何投影的角度来说, 在 α_x 和 α_y 均不为 0 的情况下上述关系只是近似, 只不过 α_x 和 α_y 越小则近似程度越高。所以, 这将造成扫描像点的定位精度误差从而引起几何失真。从失真的对称性来看, 同轴光学系统的失真像差相对光轴具有对称性, 可以通过纯光学的方法校正, 而双振镜 2 维扫描系统属于非同轴的光学系统, 其产生的图形失真不具有轴对称性, 所以, 不能用纯光学的方法加以校正。在物镜前扫描系统中透镜的畸变被用作补偿非线性扫描误差, 无法对扫描场几何失真进行补偿。

2 失真校正的依据

位于 f 物镜前的正交双振镜扫描系统如图 1 所示。在所建立的直角坐标系中, X - Y 为扫描场平面; 坐标轴 X , Z 分别与振镜 y 和振镜 x 的转轴平行; Z 轴为光轴。

设 X , Y , Z 轴的单位方向矢量分别为 \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} , 则对于以 \vec{i} 方向入射的光线 \vec{A} , 当振镜 x 和振镜 y

作者简介: 郭 飞, 男, 1978 年 9 月出生。硕士研究生。主要从事激光标刻技术的研究。
收稿日期: 2002-11-19; 收到修改稿日期: 2003-01-18

分别在起始位置上偏转 α_x, α_y 角度后,系统出射光线的单位方向矢量为^[1]:

$$\vec{A} = (\sin 2\alpha_x) \vec{i} + (\cos 2\alpha_x \sin 2\alpha_y) \vec{j} + (\cos 2\alpha_x \cos 2\alpha_y) \vec{k} \quad (1)$$

令: R 为出射光线与 Z 轴的夹角; R 为以 R 角出射的光线与扫描场平面的交点至坐标原点的距离; ϕ 为光线交点在扫描场平面上的角坐标。

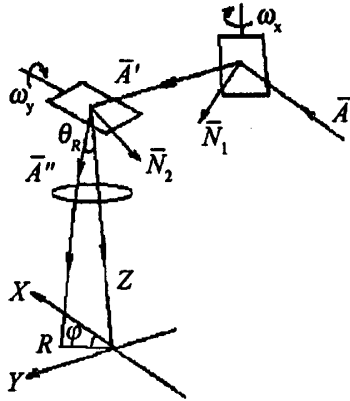


Fig.1 Pre-objective dual galvanometer scanning system

对于焦距为 f 的 f 物镜:

$$R = f \sin R = f \cos^{-1}(\cos 2\alpha_x \cos 2\alpha_y) \quad (2)$$

根据几何关系可求出扫描场上任一点的坐标:

$$X = R \cos \phi = f \sin 2\alpha_x \cos^{-1}(\cos 2\alpha_x \cos 2\alpha_y) \times (1 - \cos^2 2\alpha_x \cos^2 2\alpha_y)^{-1/2} \quad (3)$$

$$Y = R \sin \phi = f \sin 2\alpha_y \cos 2\alpha_x \cos^{-1}(\cos 2\alpha_x \cos 2\alpha_y) \times (1 - \cos^2 2\alpha_x \cos^2 2\alpha_y)^{-1/2} \quad (4)$$

图 2 是实际无校正时激光标记得到的正方形图案,此图案与根据 (3) 式和 (4) 式计算而作出的图案相符,即在 X 轴方向存在枕形失真, Y 轴方向产生桶形失真。

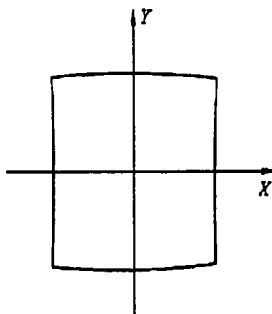


Fig.2 Square gained by laser marking without correction

对上述两式分别进行级数展开,并数学处理后得到近似表达式为:

$$X = f(2\alpha_x) + C_1 \alpha_x \alpha_y^2 \quad (5)$$

$$Y = f(2\alpha_y) - C_2 \alpha_x^2 \alpha_y \quad (6)$$

式中, C_1, C_2 为正常数。设 X_0, Y_0 分别对应 $\alpha_y = 0$ 和 $\alpha_x = 0$ 时的坐标值。

$$\text{即: } \alpha_y = 0 \text{ 时, } X = X_0 = f(2\alpha_x) \quad (7)$$

$$\alpha_x = 0 \text{ 时, } Y = Y_0 = f(2\alpha_y) \quad (8)$$

这正是无失真时,扫描光点位置的两个坐标分量。因此,由(5)式~(8)式可以得出:

$$X = X_0 + c_1 X_0 Y_0^2 \quad (9)$$

$$Y = Y_0 - c_2 X_0^2 Y_0 \quad (10)$$

式中, c_1, c_2 也为正常数。上述两式即是扫描场的几何失真公式,是设计失真校正模块电路的依据。

3 校正模块电路设计

根据上一节得出的几何失真公式设计电子校正模块,电路框图如图 3 所示。

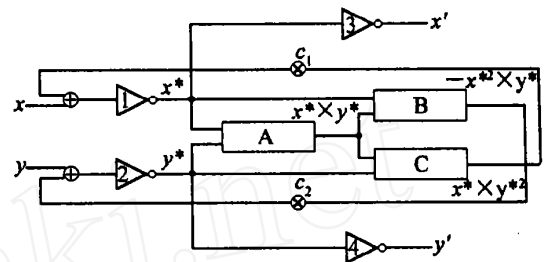


Fig.3 Diagram of correction circuit

A—multiplication 1 B—multiplication 2 C—multiplication 3

假设经 D/A 转换后的位置信号为 x, y , 电子校正后的信号为 x', y' , 在平面上扫描的位置为 x, y 。由(9)式、(10)式可得: $x' = x + c_1 x y^2$; $y' = y - c_2 x^2 y$ 。

要实现校正功能,需满足位置信号与扫描场实际位置相符,即: $x' = x, y' = y$ 。需使:

$$x = x + c_1 x y^2; y = y - c_2 x^2 y \quad (11)$$

设电路中反相器 1 和 2 的输出信号分别为 x^*, y^* 。对于此两个反相器而言,有:

$$\begin{cases} x^* = -(x + c_1 x^* y^{*2}) \\ y^* = -(y - c_2 x^{*2} y^*) \end{cases} \quad (12)$$

由反相器 3 和 4 可得: $x' = -x^*; y' = -y^*$ (13)

联系(12)式和(13)式可知,此电路能满足(11)式,只需将实际电路中的电位器调节到适当的位置,即找到合适的 c_1, c_2 值,便可实现对几何失真的校正。

实际电路中,乘法器由 AD734 4 象限乘法器实现,分别获得 $x^* y^*, x^* y^{*2}, -x^{*2} y^*$ 信号。再通过分压电路将乘法器 2,3 的输出信号选取适当的比例反馈到 OP07 的负相输入端,分别与 y, x 信号构成加法电路,使得 $x' = -(x + c_1 x^* y^{*2}), y' = -(y - c_2 x^{*2} y^*)$ 。另两个 OP07 分别对 x^*, y^* 进行

(下转第 341 页)

BBO 腔外 4 倍频 266nm 脉冲紫外激光系统的实验装置见图 3。实验中,将 532nm 的绿光通过焦距 f 为 30mm 的聚焦透镜耦合到长度为 4mm 的 BBO 晶体上,BBO 晶体采用 Ⅰ 类临界相位匹配。
Q-switched infrared

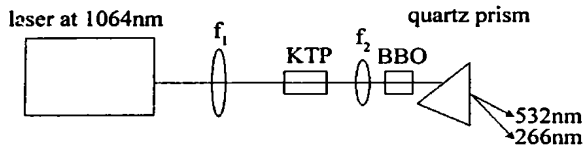


Fig. 3 The schematic of outer cavity fourth-frequency 266nm ultraviolet laser pulse

当 LD 抽运功率为 1.3W 时,得到了平均功率为 1.1mW、脉冲宽度为 12ns、峰值功率为 7.3W 的 266nm 紫外激光,其中,从 532nm 到 266nm 的光光转换效率为 3.8%,而从 1064nm 到 266nm 的光光转换效率为 0.7%。266nm 紫外激光的脉冲波形见图 4。

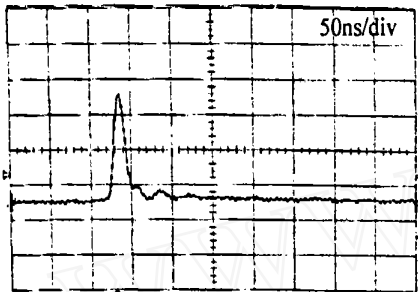


Fig. 4 The waveform of outer cavity doubled 266nm ultraviolet laser pulse 50ns/div

(上接第 338 页)
反相,实现 $x = -x^*$; $y = -y^*$ 。这样就完成了 (11) 式的运算,实现了扫描失真的校正。

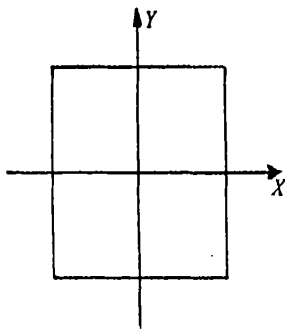


Fig. 4 Square gained by laser marking with correction

图 4。

4 结 论

用自聚焦透镜将 1.3W 的 LD 泵浦光耦合到 Nd YAG 上,得到了峰值功率为 750W,脉冲宽度为 16ns 的 1064nm 脉冲激光。经过 KTP 和 BBO 晶体倍频,得到了峰值功率为 7.3W、平均功率为 1.1mW、脉冲宽度为 12ns 的 266nm 紫外激光,其中,从 532nm 到 266nm 和从 1064nm 到 266nm 的光-光转换效率分别为 3.8% 和 0.7%。整个激光器体积小,结构紧凑,成本低,有利于 LD 泵浦固体紫外激光器的实用化和产业化发展。

参 考 文 献

- [1] Shimony Y, Burshtein Z, Kalisky Y. IEEE J Q E, 1995, QE31: 1738.
- [2] 李光晓. 光电子技术与信息, 2002, 15(2): 31 ~ 32.
- [3] 孙承伟. 激光辐射效应. 北京: 国防工业出版社, 2002: 1.
- [4] Knittel J, Kung A H. IEEE J Q E, 1997, 33(11): 2021 ~ 2028.
- [5] Kondo K, Oka M, Wada H et al. Opt Lett, 1998, 23(3): 195 ~ 197.
- [6] Kojima T, Konno S, Fujikawa S et al. Opt Lett, 2000, 25(1): 58 ~ 60.
- [7] 何京良, 卢兴强, 贾玉磊 et al. 物理学报, 2000, 49(10): 2106 ~ 2108.
- [8] 郑 权, 钱龙生. 激光与红外, 2001, 31(6): 338 ~ 340.
- [9] 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术. 北京: 科学出版社, 1995: 73 ~ 74.

图 4 为加入校正后扫描得出的正方形图案,比较图 4 和图 2,进一步说明了该校正方案的可行性。测试所用设备有: CO₂ 激光器,德国 Scanlab 公司 Scangine14 扫描器。

4 结 论

在 D/A 转换后增加一个根据几何失真公式设计的简单电路对位置信号进行一定的补偿,即可完成对双振镜 2 维扫描的几何失真校正,获得完善图形。它具有简单、方便和成本低等特点,在激光标记系统中得到了实际应用。

参 考 文 献

- [1] 虞孝舜. 激光与红外, 1998, 28(1): 45 ~ 47.