

## 一种基于 Lissajous 扫描的图像显示算法

郭晓光, 武静, 李清坤, 王晓龙

(中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471000)

**摘要:** 在激光扫描显示技术中, 基于 Lissajous 图形的扫描显示具有扫描路径不规则的特点。为了使常见的逐行光栅扫描图像输入经过 Lissajous 扫描后正确输出显示, 需要进行图像转换。按照一定的像素坐标和像素时序解算方法, 计算出 Lissajous 扫描轨迹中当前显示像素与下一显示像素的坐标和时序关系, 并参照解算出的扫描坐标和时序, 提取原输入图像对应坐标处的像素进行输出, 从而完成一幅图像的 Lissajous 扫描显示。利用 Matlab 对 880 \* 660 @ 25 Hz 分辨率图像进行仿真分析, 得出了 Lissajous 扫描显示的图像像素坐标数据和时序数据, 并统计出了两种数据的分布情况, 仿真结果表明, 该图像显示算法能准确有效地完成光栅扫描图像到 Lissajous 扫描的显示转换。

**关键词:** 激光扫描显示; 图像转换; 坐标变换; 时序变换; Lissajous

**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)04-0094-04

## An Image Display Algorithm Based on Lissajous Scanning Pattern

GUO Xiao-guang, WU Jing, LI Qing-kun, WANG Xiao-long

(Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** In the laser scanning display technology, the displayed images based on Lissajous graphic have an irregular scan path. In order to correctly display the input common progressive raster image by Lissajous scanning, it needs image conversion. According to a certain method for calculating the pixel coordinates and pixel timing, the relationship of timing and coordinates between the current display pixel and the next pixel can be calculated out. Then, the corresponding coordinate pixel value can be extracted from the input image to complete an image of Lissajous scan display. Simulation was made to images of 880 \* 660 @ 25 Hz by using Matlab, and the pixel coordinates and timing data of Lissajous scanning display were obtained. Statistics was made to the distribution of those data. The simulation results show that the algorithm can convert the input image to Lissajous scanning effectively.

**Key words:** laser scanning display; image conversion; coordinate transformation; timing transformation; Lissajous

### 0 引言

基于微机电系统 (Micro-Electro-Mechanical System, MEMS) 的激光扫描显示技术以其小型化、宽色域和低功耗的优点倍受关注, 该技术中所使用的 MEMS 器件的扫描运动方式分为双轴正弦谐振式和光栅扫描式。一般来说, 双轴正弦谐振式扫描的扫描频率比光栅扫描式的大, 容易得到更高分辨率显示画面, 使观察效果更加舒适, 因此在激光扫描显示应用中偏向于使

用双轴正弦谐振式扫描。

双轴正弦谐振式扫描的扫描路径, 不再是光栅扫描式所采用的逐行逐像素顺序扫描模式, 而是具有明显不规则性的 Lissajous 扫描。一般来说, 输入至激光扫描显示系统的常见数字视频 (如 DVI, HDMI 等) 采用逐行逐像素顺序扫描的光栅扫描式, 并不符合 Lissajous 扫描显示的要求。因此, 对于双轴正弦谐振式扫描的激光扫描显示系统来说, 存在输入图像格式向显示格式转换的问题。

目前, 国内外对基于 MEMS 的激光扫描显示技术进行了大量研究。其中, 大多数文献<sup>[1-4]</sup>研究了 MEMS 原理和基于 MEMS 的激光扫描显示原理, 部分文献<sup>[5-6]</sup>研

究了基于 Lissajous 模式的激光扫描原理,但对 Lissajous 模式显示只研究了其系统基本原理,缺少针对输入图像的 Lissajous 扫描显示格式转换问题较系统和完整的研究。

本文以 Lissajous 图像扫描显示格式转换问题为研究对象,通过深入理解 Lissajous 扫描原理,从 Lissajous 扫描的像素坐标和时序关系分析得出图像转换算法,该算法能有效解决光栅逐行扫描显示向 Lissajous 扫描显示的图像转换问题。

## 1 Lissajous 扫描与显示转换

### 1.1 Lissajous 扫描原理

二维微扫描镜的 Lissajous 扫描运动是两个相互垂直简谐振动的合运动,其扫描轨迹形状由扫描幅度、扫描频率和初相位共同决定。Lissajous 扫描用正弦方程式描述为

$$\begin{cases} X(t) = X_{\max} \sin(2\pi f_x t - \varphi_{x0}) \\ Y(t) = Y_{\max} \sin(2\pi f_y t - \varphi_{y0}) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $X_{\max}, Y_{\max}$ 是分运动的扫描幅度; $f_x, f_y$ 是分运动的扫描频率; $\varphi_{x0}, \varphi_{y0}$ 是分运动的初相位。

为便于描述和计算,本文限定二维微扫描镜的 Lissajous 扫描运动初相位为 0,即 Lissajous 初始扫描点为扫描镜的平衡位置,这符合实际的微扫描镜特点。为了得到闭合的扫描轨迹,Lissajous 扫描运动的初相位差需要满足

$$\begin{cases} \phi = (f_x \varphi_{y0} - f_y \varphi_{x0}) / \gcd(f_x, f_y) \neq \\ (2K+1)\pi/2 \quad N_x, N_y \text{ 奇偶相反} \\ K\pi \quad N_x, N_y \text{ 同为奇数, } K \text{ 为整数} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\gcd(f_x, f_y)$ 为 $f_x$ 与 $f_y$ 的最大公约数; $N_x = f_x / \gcd(f_x, f_y)$ ;  $N_y = f_y / \gcd(f_x, f_y)$ 。可以看出,根据上述初相位为 0 的设定,在选择微扫描镜驱动频率时,要保证  $N_x$  与  $N_y$  奇偶相反才能得到闭合扫描轨迹。

Lissajous 运动轨迹是以一种不规则的曲线运动,如图 1 所示,轨迹图形总体上是曲线运动交错而成,并且整个轨迹的上下边缘较密集,中心区域较稀疏。

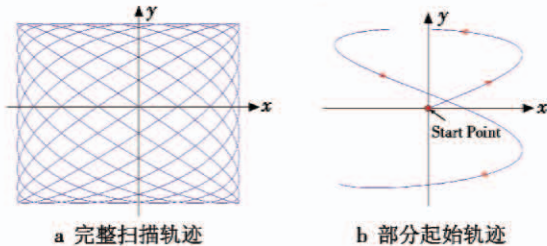


图 1 典型 Lissajous 扫描轨迹

Fig. 1 Typical Lissajous scanning trajectory

### 1.2 Lissajous 图像转换

本文将光栅输入图像按照特定的显示算法进行

像素坐标和像素时序转换,以匹配 Lissajous 扫描显示输出。

设转换前的光栅输入图像为  $I = g(p, t)$ ,即图像  $I$  是关于像素坐标  $p$  和像素时序  $t$  的函数。现要求经过图像格式转换后生成的新图像为  $I = g(p', t')$ ,即图像信息  $I$  与原输入图像要一致或尽量一致,但其像素坐标  $p'$  和像素时序  $t'$  是按 Lissajous 轨迹重新调整的。

图 2 是一幅 4 行 6 列图像的 Lissajous 图像格式转换示意图。原始输入图像是按自上而下、自左到右的光栅扫描显示顺序,如果要显示行列位置  $(i, j)$  为  $(1, 4)$  的像素,则其在原图像中的坐标序列  $p$  为  $(1, 1), (1, 2), (1, 3), (1, 4)$ ,即经过 4 个顺序的像素坐标就可达到,且扫经各像素的时长  $t$  是相同的。

而对于 Lissajous 扫描显示,如果要显示行列位置  $(i, j)$  为  $(1, 4)$  的像素,则其在 Lissajous 转换图像中坐标序列变为  $(2, 4), (2, 5), (1, 6), (1, 5), (1, 4)$ ,其中,  $(1, 5)$  经过两次扫描,可只取一次。即经过 5 个坐标非顺序变化的像素后,第  $(1, 4)$  个像素得到显示,并且由于每个像素内 Lissajous 扫描的轨迹长度和速度不相等,所以各像素的扫描时长  $t'$  也是变化的。

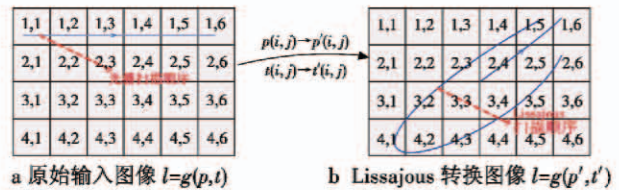


图 2 Lissajous 图像格式转换示意图

Fig. 2 Image format matching based on Lissajous scanning

原始光栅输入图像经过 Lissajous 格式转换后,像素的显示坐标和时序信息均发生了变化,需要获得  $p$  和  $t$  向  $p'$  和  $t'$  的转换方法,以使原始输入图像转换为 Lissajous 扫描输出图像。

## 2 Lissajous 像素坐标

### 2.1 像素坐标定义

将激光扫描的显示区域划分为若干像素,像素划分需要保证每个像素均有激光轨迹扫过,同时还要划分出尽可能多的像素点。一般来说,选择像素长宽等于<sup>[7-8]</sup>

$$W = Y_{\max} \sin(2\pi f_y \cdot n / 2f_x) = Y_{\max} \sin(\pi \cdot n f_y / f_x) \quad (3)$$

即选取 Lissajous 轨迹与坐标  $Y$  轴的最小正交点作为像素基准尺寸。整个显示区域按照这个尺寸划分像素,如图 3 所示,任一点像素  $I(i, j)$  的相邻像素分别表示为  $I(i, j-1), I(i, j+1), I(i-1, j)$  和  $I(i+1, j)$ 。Lissajous 扫描的像素坐标顺序并不是从第  $i+1$  行到第  $i$  行再到第  $i-1$  行,每一行也不会是从第  $j-1$  个像素到第  $j$  个再到第  $j+1$  个,而是按照 Lissajous 轨迹曲线顺序,如

图3中红线所示。

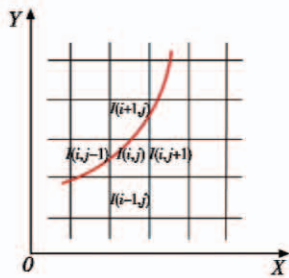


图3 Lissajous 像素的扫描顺序意图

Fig. 3 Lissajous pixel scanning sequence

## 2.2 像素扫描坐标计算

从 Lissajous 运动方程可以知道,起始扫描点位于整个轨迹中心,即起始扫描像素是整个显示区域的中心像素。将显示区域放在二维坐标空间,坐标原点设置在显示区域左下角,如图3所示。按照如下方法依次进行像素坐标计算:

1) 剪裁 Lissajous 扫描区域,对 Lissajous 扫描显示的整个区域进行边缘剪裁,以去掉轨迹边缘比较密集的像素,一般剪裁每一边缘的5%;

2) 在已知起始扫描位置  $P_0$  的条件下,根据 Lissajous 运动方程计算出下一个像素的扫描坐标位置  $P_1$ ;

3) 计算下一扫描像素与当前扫描像素的行坐标差  $\Delta R$  与列坐标差  $\Delta C$ ;

4) 循环第3)步,直至完成剪裁后显示区域所有像素与前一像素的坐标位置差。

根据上述坐标计算方法可以计算出所有显示像素的坐标位置变化信息。以第  $i$  行第  $j$  列像素  $I_{i,j}$  为例进一步说明坐标计算过程。根据 Lissajous 扫描运动的连续性特点,下一扫描像素会是  $I_{i,j}$  的相邻像素。相邻像素位置可以利用 Lissajous 运动方程(1)计算出,假设下一扫描像素的坐标是  $P(i,j+1)$ ,那么从当前像素到下一扫描像素的坐标位置变化可以描述为

$$\begin{cases} \Delta R(i,j) = P_{\text{行}}(i,j) - P_{\text{行}}(i,j+1) \\ \Delta C(i,j) = P_{\text{列}}(i,j) - P_{\text{列}}(i,j+1) \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\Delta R(i,j)$ 表示第  $i$  行第  $j$  列像素到下一扫描像素行坐标位置的变化值; $\Delta C(i,j)$ 是列坐标的变化值。

为优化坐标位置数据在存储器中的存储,可以将上式转化为

$$\begin{cases} R_{(i-1) \cdot M + j} = j + 1 \\ C_{(i-1) \cdot M + j} = i \end{cases} \quad (5)$$

式中, $M$ 是输入图像的单行像素数。这样,通过顺序读取存储在  $\Delta R(i,j)$  和  $\Delta C(i,j)$  数组中的像素坐标变化值就能完成逐行顺序扫描显示到 Lissajous 扫描显示的像素坐标变化。

## 3 Lissajous 像素时序

像素的坐标变换能保证像素按 Lissajous 顺序显示,但还需进行时序变换使得每一个 Lissajous 像素在特定时刻显示。Lissajous 扫描的时序计算是指将逐行顺序显示的图像按照 Lissajous 扫描顺序进行时序解算,使得解算前的图像每一个像素扫描时刻与解算后的 Lissajous 扫描运动对应起来。按照如下方法依次进行像素坐标计算:1) 将 Lissajous 扫描的时序信息分成两部分,即像素显示时长和像素消隐时长;2) 已知起始扫描位置的条件下,根据 Lissajous 运动方程计算当前像素的显示时长  $t(i,j)$ ;3) 根据下一扫描像素的坐标信息计算下一扫描像素的显示时长;4) 用下一扫描像素的起始扫描时刻减去当前扫描像素的结束时刻,计算出当前像素的消隐时长;5) 重复步骤3),4),直至完成整个显示区域像素时序的计算。

假设当前显示像素为  $I(i,j)$ ,下一扫描像素是  $I(i,j+1)$ ,那么上述时序计算过程可以用数学表达式描述为

$$\begin{cases} t_{i,j} = t_{\text{en}}(X_{i,j}^{-1}, Y_{i,j}^{-1}) - t_{\text{st}}(X_{i,j}^{-1}, Y_{i,j}^{-1}) \\ \Delta t_{i,j} = t_{\text{st}}(X_{i,j+1}^{-1}, Y_{i,j+1}^{-1}) - t_{\text{en}}(X_{i,j}^{-1}, Y_{i,j}^{-1}) \end{cases} \quad (6)$$

式中: $t_{i,j}$ 是当前像素的显示时长; $t_{\text{en}}$ 是像素扫描的结束时刻; $t_{\text{st}}$ 是像素的起始时刻; $\Delta t_{i,j}$ 是当前像素的消隐时长。其中, $t_{\text{en}}$ 和  $t_{\text{st}}$ 是式(1)关于时间的反函数。

## 4 仿真与分析

本文利用 Matlab 进行仿真的目的是检验上述 Lissajous 图像格式匹配算法的有效性。仿真输入的图像是  $880 * 660 @ 25 \text{ Hz}$  分辨率。仿真分成两部分:一是计算并统计该图像经过显示转换算法处理后其坐标数据和时序数据的数值分布;二是利用坐标数据仿真 Lissajous 扫描输出该图像。仿真采用扫描频率分别为  $25.9 \text{ kHz}$  和  $4.075 \text{ kHz}$ ,扫描步长为  $10 \text{ ns}$ ,每个像素取两段最长轨迹作为显示,以下仅列出第一遍统计数据的直方图。

如图4所示,针对  $880 * 660 @ 25 \text{ Hz}$  分辨率输入图像,仿真所得的第一遍显示轨迹时长数据直方图统计见图4a,坐标数据直方图统计见图4b和图4c。实际像素平均扫描时长约  $70 \text{ ns}$ ,从图4a可以看出,像素的第一遍扫描时长集中在  $30 \text{ ns}$  左右,接近平均扫描时长的一半,这符合仿真采用每个像素的两段最长轨迹用于显示的实际情况。另外,图4a的仿真结果还表明,部分像素时长超过平均像素时长的一半,这是 Lissajous 扫描轨迹部分边缘像素的轨迹线较长导致的结果。从图4b和图4c可以看出,第一遍显示轨迹的行和列坐标相对变

化量分别集中在0以及1和-1左右,这说明在每个像素取两段最长轨迹显示的条件下,像素与其相邻像素在扫描顺序上基本是连续扫描显示的。

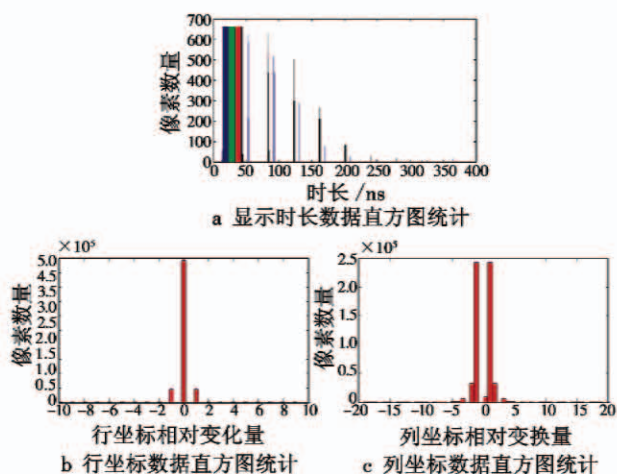


图4 Lissajous 像素的坐标与时序数据统计

Fig. 4 Coordinate and timing data statistics of Lissajous pixel

图5是输入图像与仿真图像对比图,通过仿真输入图5a所示“AVIC”字样灰度图,利用仿真所得的坐标位置信息输出该灰度图,如图5b所示。仔细观察图5b可以看出,由于分辨率和算法精度的限制,仿真输出的图像字样边缘有颗粒感,在实际应用中,可以通过采用更高频率的 MEMS 和优化算法精度来减小或消除这种颗粒感。

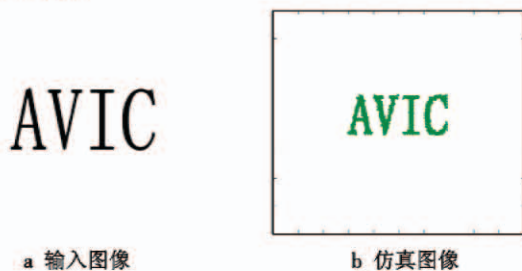


图5 输入图像与仿真图像对比

Fig. 5 Input image and simulation image

## 5 结论

提出了一种基于 Lissajous 扫描的图像显示算法,该算法通过对常见的光栅输入图像进行基于 Lissajous 扫描的像素坐标和时序转换,能达到光栅逐行扫描显示向 Lissajous 扫描显示的图像转换,并通过 Matlab 仿真验

证了上述 Lissajous 扫描图像显示算法的有效性和正确性,同时该算法采用相对位置变化量和时间长度的方法优化了数据结构,具有良好的工程应用价值。

## 参考文献

- [1] 张弛,张高飞,尤政. 微型二维扫描镜的原理性实验研究[J]. 清华大学学报:自然科学版,2008,48(11):1743-1746. (ZHANG C, ZHANG G F, YOU Z. Experimental investigation on the principle of a two-dimensional scanning micro-mirror[J]. Journal of Tsinghua Univ (Sci & Tech), 2008, 48(11):1743-1746.)
- [2] 马文英,姚军,任豪,等. MEMS 二维静电驱动扫描镜设计和分析[J]. MEMS 器件与技术,2009,46(5):296-300. (MA W Y, YAO J, REN H, et al. Design and analysis of MEMS 2D electrostatic scanning mirrors[J]. MEMS Device & Technology, 2009, 46(5):296-300.)
- [3] WINE D W, HELSEL M P, JENKINS L, et al. Performance of a biaxial MEMS-based scanner for microdisplay applications[J]. Proceedings of SPIE, 2000, 4178:186-196.
- [4] 李请坤,周拥军,武静. 微型光机电二维扫描镜的 Lissajous 与 Linescan 扫描对比[J]. 电光与控制,2015, 22(1):101-104. (LI Q K, ZHOU Y J, WU J. Research on Lissajous and Linescan scanning pattern based on MOEMS [J]. Electronics Optics & Control, 2015, 22(1):101-104.)
- [5] NIESTEN M, MASOOD T, MILLER J, et al. Scanning laser beam displays based on a 2-D MEMS[J]. Proceedings of SPIE, 2010, 7723:77230U1-U10.
- [6] POSCHER K U, GRATZ H, SCHENK H, et al. Low cost projection device with a 2-dimensional resonant microscanning mirror[J]. SPIE, 2004, 5348:22-31.
- [7] LI Z, YUAN W Z, WU M, et al. Micro scanning mirrors with laser diode for pattern generation[J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(11):1625-1628.
- [8] 李晓莹,梁晓伟,乔大勇,等. 基于李萨如扫描的微型激光投影显示技术[J]. 光学学报,2014,34(6):130-135. (LI X Y, LIANG X W, QIAO D Y, et al. Miniature laser projection display technique based on lissajous scanning[J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(6):130-135.)