

文章编号 1004-924X(2018)04-0998-08

OLED 微显示器的原子扫描策略

季 渊^{1*}, 王成其¹, 陈文栋¹, 满丽萍¹, 冉 峰^{1,2}

(1. 上海大学 微电子研究与开发中心, 上海 200072;

2. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘要: 为了实现 2K 及以上超高清微型显示器的高效率高性能扫描, 建立了微型显示器的原子扫描模型。对该模型采用的数学矩阵、基于分形延伸的植入运算进行研究, 提出了原子扫描策略并推导了原子扫描序列。首先, 对现有的 PWM (脉冲宽度调制) 扫描策略进行扫描性能分析。然后, 在分析比较几种扫描策略性能的基础上, 说明原子扫描是实现较优性能的最佳选择。实验结果表明: 对于 256 级灰度, 采用 32 位子空间, 8 位权值比为 128 : 64 : 32 : 16 : 9 : 4 : 2 : 1 的原子扫描策略具有较好的线性度和较高的传输效率。在分辨率为 1 600 × 1 600 的原子扫描方案中, 时钟频率为 50 MHz, 帧频可达 90 Hz, 线性度接近 99.8%, 传输效率高达 100%, 基本满足超高分辨率扫描系统中高帧频、较低时钟、高线性度的要求。

关键词: 有机发光; 微显示器; 超高分辨率; 分形扫描; 原子扫描

中图分类号: TN27; TN873 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20182604.0998

An atom scan strategy for OLED micro display

Ji Yuan^{1*}, Wang Cheng-qi¹, Chen Wen-dong¹, Man Li-ping¹, Ran Feng^{1,2}

(1. Microelectronic Research and Development Center, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

* Corresponding author, E-mail: jiyuan@shu.edu.cn

Abstract: An atom scanning system was established in order to improve scanning efficiency and achieve resolution better than 2K for flat-panel displays. The atom scanning strategy was analyzed using mathematical matrices based on fractal geometry. First, the existing PWM scanning strategies were analyzed. Next, we performed a comparative study of the performances of different scanning strategies, and illustrated that the atom scanning method exhibits the best performance. Our experimental results indicate that linearity is preferred when the weight value of 8 bits is converted to 128 : 64 : 32 : 16 : 9 : 4 : 2 : 1 for 256 level gray-scale images. For a resolution of 1600 × 1600 with a clock frequency of 50 MHz, the scanning frame frequency reaches 90 Hz, while the linearity and transmission efficiency are 99.8% and 100%, respectively. Thus, the requirements of extremely high resolution and frame frequency, low clock frequency, and high linearity are satisfied.

Key words: Organic Light-Emitting Diode(OLED); microdisplay; ultra-high resolution; fractal scan; atom scan

收稿日期: 2017-10-16; 修订日期: 2017-11-06.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 61376028, No. 61674100, No. 61774101)

1 引言

近年来,虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术获得了广泛的关注。最终的虚拟世界都要通过显示器呈现,目前适用于头戴式虚拟现实终端的显示器,如薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)或主动有机发光显示器(AMOLED),都无法很好地匹配海量数据下虚拟世界重构的计算速度。硅基微型显示器面积小,可提升佩戴舒适感;像素密度高,可带来更清晰的显示效果,降低甚至消除纱窗效应;同时,集成的硅基电路可进一步提高刷新率以减少虚拟现实的眩晕感,降低功耗,更高的分辨率也带来更大的视场角提升空间。因此,硅基微显示器成为头戴式虚拟现实设备的优选方案^[1-2]。

针对面向沉浸式虚拟现实应用的 1.6K × 1.6K 以上分辨率的 OLED 微显示器的现实需求,研究虚拟世界海量图像数据的高效映射方法,以及与传统顺序扫描机制完全不同的基于分形原理的随机化原子扫描策略去除冗余的机理和数学模型,可以从映射算法原理上拓展显示扫描效率提升的空间。采用数字扫描方式的脉宽调制法(Pulse Width Modulation, PWM)可应用于 LED^[3-5]、数字微镜装置(DMD)^[6-7]、硅基液晶(LCOS)^[8]、硅基有机微显示(OLEDoS)^[9-11]等数字式显示器上。

现有的 PWM 灰度扫描模式一般采用子场扫描方法,即将一场(也称为一周或一帧)数据分成几个部分,每个部分的点亮时间对应不同的权值,可组合成不同的灰度。相比于传统的基本权值扫描,子场扫描的帧频得到了提高,但是子场扫描存在较明显的亮度损失。针对亮度损失,本小组之前提出了分形扫描^[12],即将整个显示空间划分成多个子空间,每个子空间分别按照不同权值顺序进行的一种扫描方法。相比于子场扫描法,分形扫描在减少时间冗余和提高传输性能的同时,消除了亮度损失。然而,Z 字分形最优扫描算法^[13]存在较大的非线性问题,针对该问题,本小组在线性校正研究的基础上,提出了最优扫描算法的非线性校正^[14],虽然改善了线性问题,但是在高灰度高分辨率的图像显示中仍无法高效地提高扫描帧频。本文在分形扫描算法的基础上提出

一种原子扫描算法。该算法作为分形扫描算法的延伸解决了超高分辨率显示扫描时帧频过少、时钟频率要求较高的问题,同时又较好地兼顾了线性度。当显示分辨率非常高时,例如,在 2K(2048 × 1152)、4K(4096 × 2160)、及 8K(7680 × 4320)的情况下,基于分形理论的原子化扫描法所需的系统时钟频率较传统扫描算法大幅降低,帧频显著提高。

2 原子扫描的数学模型

2.1 分形扫描概述

在分形扫描理论中,子空间的概念被提出。在子场法扫描中,整个显示区域视为一个子空间,顺序完成扫描。在分形扫描中,可以将一个扫描区域定义为几个子空间。子空间彼此不同,不同子空间的区别在于扫描权值表的权值顺序不同。子空间定义为显示面板在行方向上的一种划分,每个子空间包含一行像素或相邻的若干行像素。在子空间内部,像素扫描遵循“从左至右,从上至下”的顺序,同一个子空间内部遵循同一种权值扫描顺序。一个子空间扫描完毕,可以随机切换至任意的另一个子空间,可以重复多次扫描同一个子空间对应显示面板上的区域。以权值表为 1 : 3 : 8 : 20 的分形扫描为例,由于该扫描策略在数据传输过程中没有出现任何传输等待,因此,分形扫描克服了传统子场扫描法的时间冗余问题,但自身存在权值非线性化的不足,迫切需要一种折中的扫描方法来平衡传输效率与权值线性。基于分形扫描中序列随机化的思想进一步研究扫描序列,作为分形扫描的延伸,原子扫描具有较优的扫描性能。

2.2 原子扫描

原子扫描的目标是实现传输效率和权值线性的最优化。其核心思想如图 1 所示,先找到一个传输效率为 100% 的低灰度扫描矩阵,再将这个扫描作为一个抽象的原子扫描放到另一个较高灰度等级的扫描矩阵中。原子扫描的植入过程遵循扫描权值序列线性最优化原则和可植入原则。通过植入运算最终可以得到更高的灰度等级、较高的传输效率及较好的线性扫描序列。

如图 1 所示,原子扫描包含两个主要的扫描矩阵,矩阵 $Q^{[m]}$ 作为被植入对象,拥有较低的灰度

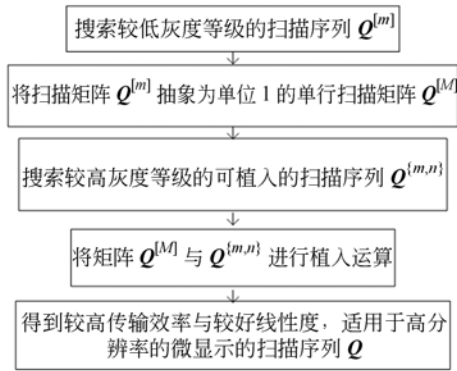


图 1 原子扫描算法核心思想流程图
Fig. 1 Flow chart of atom scan algorithm

等级, 传输效率高达 100%。m 表示矩阵 $Q^{[m]}$ 抽象为单行时权值的个数。在原子扫描矩阵 $Q^{[m]}$ 中, J 表示权值个数, L 表示扫描序列的子空间数, H 为权值序列, T 表示时间长度, T 值为 H 表所有权值之和。当 T 与 L 的比值为整数时, $Q^{[m]}$ 表示为可 L 倍的原子扫描, 此时 $m=L$ 。如 $Q^{[m]}$ ($m=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) 为可 L 倍的原子扫描矩阵: 在 $Q^{[2]}$ 中 $J=2$ 时, 取 $L=2$ 且 $H=3, 1$; 在 $Q^{[3]}$ 中 $J=3$ 时, 取 $L=2$ 且 $H=3, 2, 1$; $J=4$ 时, 在 $Q^{[4]}$ 中, 取 $L=4$ 且 $H=9, 4, 2, 1$; 在 $Q^{[5]}$ 中, $J=5$ 时, 取 $L=6$ 且 $H=15, 8, 4, 2, 1$ 。同理, 在 $Q^{[6]}$ 中 $J=6$ 时, 取 $L=10$ 且 $H=30, 15, 8, 4, 2, 1$; 在 $Q^{[7]}$ 中 $J=7$ 时, 取 $L=18$ 且 $H=63, 32, 16, 8, 4, 2, 1$ 。即有:

$$Q^{[2]} = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}, Q^{[3]} = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}, Q^{[4]} = \begin{bmatrix} 9 & 4 & 2 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 9 \\ 9 & 1 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & 4 & 9 \end{bmatrix},$$

$$Q^{[5]} = \begin{bmatrix} 8 & 2 & 4 & 1 & 15 \\ 8 & 4 & 15 & 1 & 2 \\ 15 & 2 & 4 & 1 & 8 \\ 8 & 1 & 4 & 2 & 15 \\ 2 & 1 & 15 & 4 & 8 \\ 15 & 1 & 4 & 2 & 8 \end{bmatrix}.$$

图 1 中的矩阵 $Q^{(m,n)}$ 定义为可植入 $Q^{[m]}$ 的原子扫描矩阵, 其传输效率接近 100%。在矩阵 $Q^{(m,n)}$ 中, 每行的权值中有且只有 h 个连续的 1, 称为可 h 位植入原子化扫描。m 表示被植入的原子化扫描 $Q^{[m]}$ 抽象后的 $Q^{[M]}$ 元素个数, n 表示可植入原子化扫描矩阵的单行权值元素个数, J' 表示权值个数, L' 表示扫描序列的子空间数, H' 为权值序列, T' 表示时间长度, T' 值为 H' 表所有权值之和。在可植入的原子扫描中, 使用 -m 表示 h 个连续的 1, 作为原子扫描的抽象表示, 在可植入扫描矩阵 $Q^{(m,n)}$ 中 等同于其他权值数, 在植入过程中需要还原为矩阵 $Q^{[m]}$ 。

植入运算遵循两个原则: 扫描序列线性最优化原则是指尽可能地实现扫描序列的线性度最大化, 可以允许极个别的权值非线性, 整体保持线性即可; 可植入原则是指抽象后扫描矩阵 $Q^{[M]}$ 中的元素个数应当与可植入矩阵 $Q^{(m,n)}$ 中 h 位连续的 1 存在对等关系, 即 $M=h$ 。式(1)表示植入运算公式, 矩阵 Q 表示 $Q^{[M]}$ 和 $Q^{(m,n)}$ 的植入运算结果矩阵。

$$Q = \begin{cases} Q^{[m]} & (Q_{i,j}^{(m,n)} < 0) \\ LQ^{(m,n)} & (Q_{i,j}^{(m,n)} > 0) \end{cases}, \quad (1)$$

其中 i, j 为正整数。用于表示可植入的原子扫描矩阵如下:

$$Q^{[4,5]} = \begin{bmatrix} 32 & 8 & 16 & -4 & 4 \\ 8 & 32 & -4 & 16 & 4 \\ 32 & 4 & 8 & -4 & 16 \\ 32 & 16 & -4 & 8 & 4 \\ 4 & 8 & -4 & 16 & 32 \\ 16 & -4 & 8 & 4 & 32 \\ 4 & 16 & -4 & 32 & 8 \\ 4 & -4 & 16 & 8 & 32 \end{bmatrix}, Q^{[5,5]} = \begin{bmatrix} 20 & 5 & 10 & 40 & -5 \\ 20 & 5 & 10 & -5 & 40 \\ 20 & 5 & -5 & 10 & 40 \\ 10 & -5 & 5 & 20 & 40 \\ 40 & 20 & 5 & -5 & 10 \\ 40 & 10 & -5 & 5 & 20 \\ 40 & -5 & 10 & 5 & 20 \\ -5 & 40 & 10 & 5 & 20 \end{bmatrix}, Q^{[6,5]} = \begin{bmatrix} 24 & 6 & -6 & 12 & 48 \\ 24 & 12 & -6 & 6 & 48 \\ 6 & -6 & 12 & 24 & 48 \\ 12 & -6 & 6 & 24 & 48 \\ 48 & 24 & 6 & -6 & 12 \\ 48 & 24 & 12 & -6 & 6 \\ 48 & 6 & -6 & 12 & 24 \\ 48 & 12 & -6 & 6 & 24 \end{bmatrix},$$

$$Q^{[7,5]} = \begin{bmatrix} 28 & 7 & -7 & 14 & 56 \\ 7 & -7 & 14 & 28 & 56 \\ 14 & -7 & 7 & 28 & 56 \\ 28 & 14 & -7 & 7 & 56 \\ 56 & 7 & -7 & 14 & 28 \\ 56 & 28 & 7 & -7 & 14 \\ 56 & 28 & 14 & -7 & 7 \\ 56 & 14 & -7 & 7 & 28 \end{bmatrix}$$

表 1 列出了部分原子扫描矩阵植入运算结果,可 L 倍原子扫描矩阵和可植入扫描矩阵并不是唯一的,只需遵循植入运算原则可推导出更多的原子化扫描序列。传输效率反映了传输的冗余效率,灰度效率表示实际的有效灰度值,参考帧体现了刷新速率,线性度反映扫描的显示性能。由表 1 可知,原子扫描的权值线性度极好,可以实现较高灰度等级的扫描,并且兼顾较高的传输效率和较低的时钟要求。

表 1 原子扫描植入运算结果

Tab.1 Results of atom scan implant operation

Scan	Weight number	Gray level	Space	Weights table	Transport efficiency/%	Gray efficiency/%	Reference frame	Linearity/%
$Q^{[4]} \cdot Q^{[4,5]}$	8	241	32	128,64,32,16,9,4,2,1	100	93.75	125.0k	99.8
$Q^{[5]} \cdot Q^{[5,5]}$	9	481	48	240,120,60,30,15,8,4,2,1	90.0	93.35	100.0k	93
$Q^{[6]} \cdot Q^{[6,5]}$	10	961	80	480,240,120,60,30,15,8,4,2,1	83.3	93.35	83.3k	93
$Q^{[7]} \cdot Q^{[7,5]}$	11	2017	144	1008,504,252,126,63,32,16,8,4,2,1	78.6	93.75	71.4k	98.4
$Q^{[7]} \cdot Q^{[7,6]}$	12	4033	288	2016,1008,504,252,126,63,32,16,8,4,2,1	85.7	96.87	71.4k	98.4

2.3 原子扫描策略实例

以 256 级灰度等级作为原子扫描植入运算的示例,如矩阵 $Q^{[4]}$ 所示可四倍原子的扫描矩阵。图 2 为 $Q^{[4]}$ 对应的扫描序列图,每个时刻传输一个子空间的一个比特位,不存在时间冗余。如矩

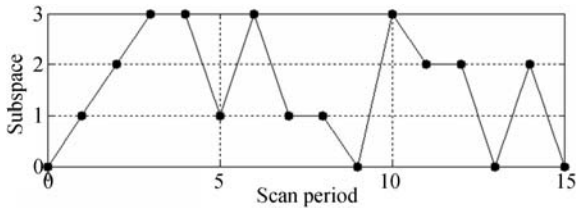


图 2 可 4 倍原子扫描
Fig.2 Four times atom scan

阵 $Q^{[4,5]}$ 所示为可植入 $Q^{[4]}$ 的扫描矩阵,图 3 为 $Q^{[4,5]}$ 对应的扫描序列图,连续 4 个相同子空间处为矩阵 $Q^{[4,5]}$ 中权值为 -4 表示的扫描区域,在原子扫描植入运算中代表扫描矩阵 $Q^{[4]}$ 。

$$Q^{[4]} = \begin{bmatrix} 9 & 4 & 2 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 9 \\ 9 & 1 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & 4 & 9 \end{bmatrix}, Q^{[4,5]} = \begin{bmatrix} 32 & 8 & 16 & -4 & 4 \\ 8 & 32 & -4 & 16 & 4 \\ 32 & 4 & 8 & -4 & 16 \\ 32 & 16 & -4 & 8 & 4 \\ 4 & 8 & -4 & 16 & 32 \\ 16 & -4 & 8 & 4 & 32 \\ 4 & 16 & -4 & 32 & 8 \\ 4 & -4 & 16 & 8 & 32 \end{bmatrix}$$

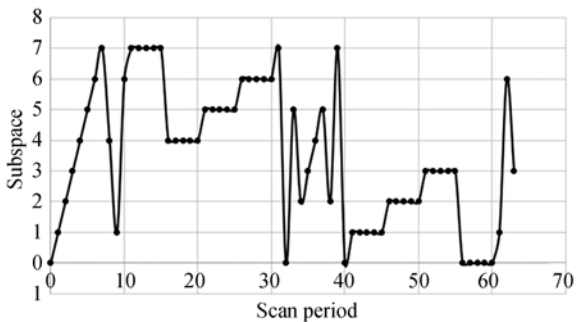


图 3 可植入 4 位原子扫描
Fig.3 Implant four bits atom scan

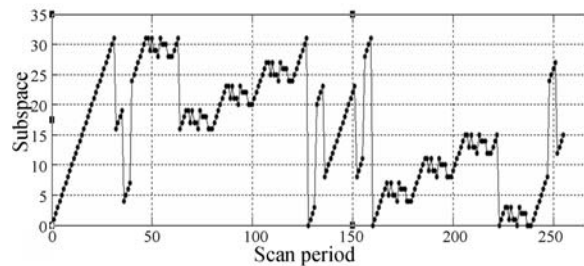


图 4 原子扫描的时空平面图(256 级)
Fig.4 Time and space for atom scan(256 level)

经过原子植入运算可以得到 256 级灰度的原子植入递推扫描序列矩阵 Q , Q 与 Q^T 互为逆矩

阵。图 4 为原子化扫描序列 Q 矩阵对应的时空平面图,不存在传输冗余。

$$Q^T = \begin{bmatrix} 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 64 & 64 & 64 & 64 & 16 & 16 & 16 & 16 & 128 & 128 & 128 & 128 & 128 & 128 & 128 & 128 & 32 & 32 & 32 & 32 & 128 & 128 & 128 & 128 \\ 1 & 2 & 4 & 9 & 64 & 64 & 64 & 64 & 1 & 2 & 4 & 9 & 32 & 32 & 32 & 32 & 64 & 64 & 64 & 64 & 16 & 16 & 16 & 16 & 128 & 128 & 128 & 128 & 32 & 32 & 32 & 32 \\ 2 & 1 & 2 & 4 & 1 & 9 & 4 & 9 & 2 & 1 & 2 & 4 & 1 & 9 & 4 & 9 & 1 & 9 & 4 & 9 & 32 & 32 & 32 & 32 & 1 & 9 & 4 & 9 & 64 & 64 & 64 & 64 \\ 4 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 & 4 & 4 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 & 4 & 2 & 1 & 2 & 4 & 1 & 9 & 4 & 9 & 2 & 1 & 2 & 4 & 1 & 9 & 4 & 9 \\ 4 & 2 & 1 & 2 & 4 & 2 & 1 & 2 & 9 & 4 & 9 & 1 & 4 & 2 & 1 & 2 & 4 & 4 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 & 4 & 4 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 & 4 \\ 9 & 4 & 9 & 1 & 9 & 4 & 9 & 1 & 32 & 32 & 32 & 32 & 9 & 4 & 9 & 1 & 9 & 4 & 9 & 1 & 4 & 2 & 1 & 2 & 9 & 4 & 9 & 1 & 4 & 2 & 1 & 2 \\ 32 & 32 & 32 & 32 & 128 & 128 & 128 & 128 & 16 & 16 & 16 & 16 & 32 & 32 & 32 & 32 & 32 & 32 & 32 & 32 & 9 & 4 & 9 & 1 & 64 & 64 & 64 & 64 & 9 & 4 & 9 & 1 \\ 128 & 128 & 128 & 128 & 32 & 32 & 32 & 32 & 128 & 128 & 128 & 128 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 64 & 64 & 64 & 64 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 \end{bmatrix}$$

3 原子扫描策略仿真

传统的子场扫描法存在较大的传输时间冗余,最优扫描算法的数据传输效率达到 100%,但是在显示颜色层次丰富的图像(例如天空、海洋等)时容易产生轮廓线。表 2 列出了各种扫描方案对应于 8 位色彩深度的灰度权值表。

表 2 各种扫描方案对应于 8 位色彩深度的灰度权值
Tab. 2 Gray values for eight bit width

BIT	Traditional scan	Optimal (Z fractal scan)	Optimal correction	Atom scan
0	1	1	1	1
1	2	3	3	2
2	4	8	8	4
3	8	20	14	9
4	16	48	24	16
5	32	112	52	32
6	64	256	104	64
7	128	576	208	128

当灰度差值在一定范围内时,人眼对图像的认识可忽略细微的权值变化,即可以忽略原子扫描带来的少量灰度级数的缺失。例如,在 256 级灰度中,表 2 所示的原子扫描的灰度权值会缺失 16 个灰度级数(灰度值为 8, 24, 40, 56, 72, 88, 104, 120, 136, 152, 168, 184, 200, 216, 232, 248)。用表 2 的几种灰度权值组合可以表示同一副图像。

如图 5 所示,256 级灰度的最优扫描及校正和原子化扫描的权值具有较好的线性度。

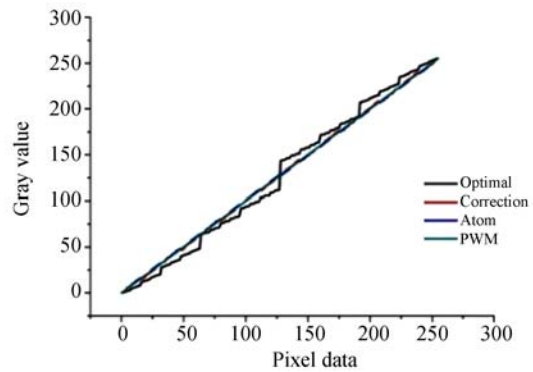


图 5 传统 PWM,最优扫描及校正,原子扫描的像素数据与灰度值的关系

Fig. 5 Pixel data and gray values for traditional PWM, optimal scan, correction and atom scan

图 6 为原子扫描与传统线性扫描灰度值经过标准化处理后与像素数据的关系和原子扫描灰度值经过最小均方差线性拟合的残差图。图 6 中左侧纵坐标是原子扫描经过灰度值标准化处理后与传统线性扫描的对照,如图 6 所示(彩图见期刊电子版),黑色与红色曲线基本重合,原子扫描线性度很高。图 6 右侧纵坐标是原子扫描灰度值经过标准化处理后与传统线性扫描的残差图,如图 6 中蓝色曲线所示,最大值仅为 0.003 9%,表明原子扫描的线性拟合程度很好。

基于表 2 的扫描权值序列,得到如图 7 所示的灰度图像仿真图。传统线性 PWM 扫描策略的仿真图如图 7(a)所示。图 7(b)为未经校正的最优扫描策略的仿真图,右上角颜色渐变的天空处出现了较明显的轮廓线,图 7(c)为最优化扫描经

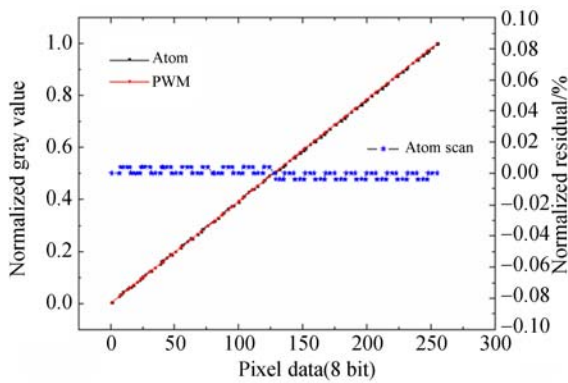


图 6 原子扫描与传统线性 PWM 扫描经标准化处理的灰度值与像素数据的关系和原子扫描灰度值经过最小均方差线性拟合的残差

Fig. 6 Normalized gray and pixel data for traditional PWM and atom scan, and normalized residual and pixel data for traditional PWM and atom scan

过线性校正后的仿真图,天空处轮廓线问题得到了有效的改善。图 7(d)为本文提出的原子扫描的仿真图,画质与传统线性 PWM 扫描非常接近,但它所需要的扫描频率大幅降低。



(a)线性 RWM (b)未经校正的最优扫描策略
(a)Linear PWM (b)Optimal



(c)经过校正的最优扫描 (d)原子扫描
(c)Optimal correction (d)Atom scan

图 7 四种数字式扫描策略的灰度图像仿真图

Fig. 7 Grayscale images processed by four digital scan strategies

4 实验与结果分析

针对图 7 仿真图的差异性,表 3 列出了不同数字扫描策略的扫描性能指标。如表 3 所示,基于分辨率为 $1\ 920 \times 1\ 080$ 的平板显示器,像素的时钟频率 f 为 100 MHz,数据宽度为 64 位。针对传统的 19 子场和 12 子场,将最优化扫描的 Z 字形扫描,最优化扫描的线性校正及原子扫描的灰度等级、传输效率、线性度和帧频进行了比较。传统的子场扫描法的传输效率不高,随着子场数目的增加,帧频显著减少。Z 字形扫描作为最优扫描的一种,具有较高的传输效率,但是线性度不理想,仅为 25%,体现在图 7(b)最优化扫描中存在明显的轮廓线。最优化扫描的线性校正法改善了线性度,但是降低了传输效率。原子扫描在保证传输效率较高的情况下改善了线性度,当像素时钟频率为 100 MHz 时,帧频可达到 150 Hz,在 VR 设备中有着广泛的应用前景。

表 3 不同扫描方案的扫描性能比较

Tab. 3 Performance comparison among several scan strategies

Scan strategy	Gray level	Transmission efficiency/%	Linearity/%	Frame rate/Hz
12 subfield scan	256/256	66.41	100	85
19 subfield scan	256/256	83.88	100	54
Optimal(Z fractal scan)	576/256	100	25	85
Optimal correction	208/256	40.4	80.9	79
Atomized scan with (9 4 2 1)	241/256	100	99.8	150

基于上一小节的软件仿真结果,本节列出了关于原子扫描线性度的硬件实验结果。硬件实验平台如图 8 所示。A 为程序烧写器,B 为测试开发板,C 为硅基 OLED 微型显示器。烧写器用以

连接计算机与测试开发板,烧写器烧录程序到测试开发板,采用个人计算机产生输入信号,扫描结果显示于硅基 OLED 微型显示器面板上。实验使用 $1\ 600 \times 1\ 600$ 分辨率的 OLED 微显示屏,采

用权值为 128 : 64 : 32 : 16 : 9 : 4 : 2 : 1 的原子扫描序列完成 0~255 级灰度的显示测试,在像素时钟频率仅为 50 MHz 时,扫描帧频可达 90 Hz,图像整体画质清晰,灰度亮暗层次分明,成功地验证了原子扫描在 OLED 平台的应用。

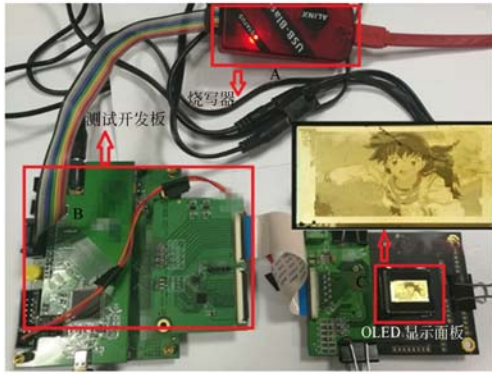


图 8 原子扫描硬件实验装置图

Fig. 8 Experiment hardware devices for atom scan

基于硬件实验结果,使用亮度计对不同像素数据下 OLED 发光强度进行测试,测量 0~255 级亮度对应的亮度值。图 9 为像素数据与原子扫描的灰度值的线性拟合关系,线性度高达 99.9%。图 10 为硅基 OLED 发光强度与像素数据的线性拟合关系,发光强度反应了灰度值,OLED 的发光

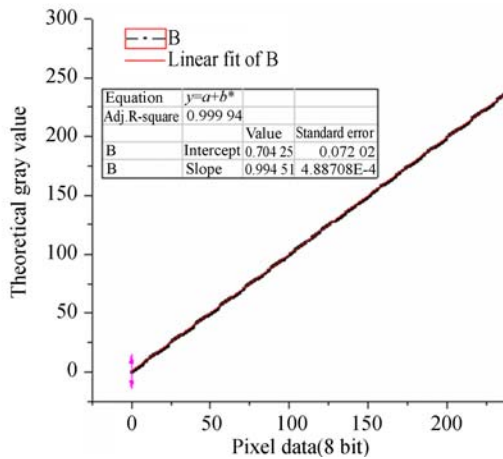


图 9 像素数据与灰度值的关系

Fig. 9 Relationship between pixel data and gray value

参考文献:

- [1] MENTLEY D E. State of flat-panel display technology and future trends[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2002, 90(4): 453-459.

强度线性度为 99.2%,线性度有所下降。在实验测试中,因为存在权值为 1 : 2 : 4 : 9 : 16 : 32 : 64 : 128,发光强度与灰度值的线性度有所下降,可以采用伽马校正克服这种线性度降低。

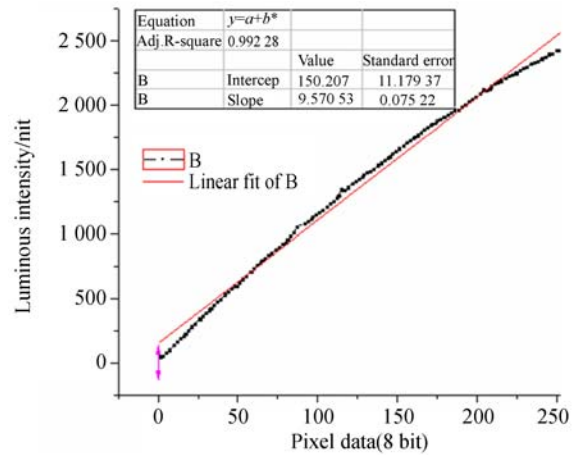


图 10 像素数据与发光强度的关系

Fig. 10 Relationship between pixel data and luminous intensity

综上所述,原子扫描法兼顾高的传输效率、较好的线性度及较低的时钟频率,适用于包括硅基 OLED 微显示器在内的超高分辨率、超高灰度等级的平板显示器。

5 结 论

本文在分形扫描理论的基础上提出了原子扫描策略,通过建立原子扫描数学模型,验证了原子扫描法相比较于传统子场扫描、最优化扫描(Z 字分形扫描)等现有扫描方法,具有更好的综合显示性能。使用分辨率为 1 600×1 600 的 OLED 微显示屏,原子扫描的像素密度高,可带来更清晰的显示效果,在 256 级灰度系统扫描测试实验中,在像素时钟仅为 50 MHz 的情况下,帧频可达 90 Hz,线性度达 99.8%,传输效率为 100%,可满足超高分辨率、高扫描系统帧频及较低时钟的要求。因此,原子扫描策略适用于 2K 及以上分辨率的 OLED 微显示器。

- [2] 马东阁. OLED 显示与照明--从基础研究到未来的应用[J]. *液晶与显示*, 2016, 31(3): 229-241.

MA D G. OLED Display and lighting--from basic research to future applications[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(3):

- 229-241. (in Chinese)
- [3] SVILAINIS L. Comparison of the EMI performance of LED PWM dimming techniques for LED video display application[J]. *Journal of Display Technology*, 2012, 8(3): 162-165.
- [4] 李志全, 王聪, 李文超, 等. 利用 Ag/P-GaN 双光栅改善 LED 发光特性[J]. *光学精密工程*, 2017, 25(5): 1185-1191.
LI ZH Q, WANG C, LI W CH, *et al.*. Improving LED luminescence properties by using Ag/P-GaN double grating[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2017, 25(5): 1185-1191. (in Chinese)
- [5] 常锋, 孙志远, 王瑞光, 等. LED 显示图像的非均匀度校正改进方法[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(4): 929-937.
CHANG F, SUN ZH Y, WANG R G, *et al.*. Improvement of nonuniformity correction of LED display images[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(4): 929-937. (in Chinese)
- [6] HORNBECK L J. Combining digital optical MEMS, CMOS and algorithms for unique display solutions[C]. *Proceedings of 2007 IEEE International Electron Devices Meeting, IEEE*, 2007: 17-24.
- [7] WU Y H, MIRZA I O, ARCE G R, *et al.*. Development of a digital micromirror device (DMD)-based snapshot spectral imaging (DMD-SSI) system[C]. *Proceedings of 2011 IEEE Photonics Conference, IEEE*, 2011: 149-150.
- [8] KANG J S, KWON O K. Digital driving method for low frame frequency and 256 gray scales in liquid crystal on silicon panels[J]. *Journal of Display Technology*, 2012, 8(12): 723-729.
- [9] LEVY G B, EVANS W, EBNER J, *et al.*. An 852 × 600 pixel OLED-on-silicon color microdisplay using CMOS subthreshold-voltage-scaling current drivers[J]. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2002, 37(12): 1879-1889.
- [10] JI Y, RAN F, XU H G, *et al.*. A digitally driven pixel circuit with current compensation for AMOLED microdisplays[J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2014, 22(9): 465-472.
- [11] 张新华, 陈文彬. 一种新型硅基 OLED 微显示像素电路[J]. *液晶与显示*, 2014, 29(1): 83-87.
ZHANG X H, CHEN W B. Novel pixel circuit for OLED-on-silicon micro-display[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(1): 83-87. (in Chinese)
- [12] XU M H, RAN F, CHEN Z. A novel OLED controller with fractal scan scheme[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2010, 26(6): 570-575.
- [13] JI Y, RAN F, JI W G, *et al.*. Optimal scan strategy for mega-pixel and kilo-gray-level OLED-on-silicon microdisplay[J]. *Applied Optics*, 2012, 51(17): 3731-3743.
- [14] 刘万林, 季渊, 冉峰, 等. 硅基 OLED 微显示器最优扫描算法的非线性校正[J]. *光电工程*, 2016, 43(12): 200-205.
LIU W L, JI Y, RAN F, *et al.*. Nonlinear correction of optimal scan strategy on the OLED-on-silicon Microdisplay [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, 43(12): 200-205. (in Chinese)

作者简介:



季 渊(1980—),男,上海人,博士,硕士生导师,2002年、2005年、2012年于上海大学分别获得学士、硕士、博士学位,2013~2014年在美国明尼苏达大学从事博士后研究,主要研究方向为平板显示驱动技术、平板显示器灰度控制算法及集成电路设计。E-mail: jiyuan@shu.edu.cn



王成其(1992—),女,江苏宿迁人,硕士,2015年于南通大学获得学士学位,2018年于上海大学获得硕士学位,主要研究方向为平板显示器及平板灰度控制算法的研究。E-mail: 18800201983@163.com

(本栏目编辑:秦 思)