

平板显示系统的最优扫描结构及分形模型

徐美华¹, 陈章进¹, 冉 峰¹, 何幼桦²

(1. 上海大学机电工程与自动化学院, 上海市电站自动化技术重点
实验室, 上海 200072 2. 上海大学理学院, 上海 200444)

摘 要: 本文首次将分形原理应用于平板显示系统灰度图像的扫描映射, 提出了平板显示系统灰度图像的最优扫描结构及分形模型, 以解决平板显示系统扫描形成灰度图像过程中的时间冗余问题. 将显示系统的数字显示存储空间分切成若干个具有不同时间维数的空间划分, 在此基础上导出“空间划分”和“时间灰度分形”拓扑结构的分形扫描模型及 FPD 离散空间的分形维数, 然后根据分形模型对每一维空间划分实施自相似时间灰度分形扫描. 文中从理论上证明了该模型的最优性, 推导了超高显示灰度与帧频的关系, 并用实验结果证明该方法可在不改变扫描频率的前提下可提高平板显示系统扫描效率及成像质量.

关键词: 平板显示; 最优扫描结构; 时间冗余; 分形扫描; 灰度等级

中图分类号: TP301 TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 08-1376-05

Optimal Scanning Architecture and Fractal Model for Flat Panel Display System

XU Meihua¹, CHEN Zhang-jin¹, RAN Feng¹, HE You-hua²

(1. School of Mechanical and Electronic Engineering and Automation, Shanghai University,
Shanghai 200072, China; 2 College of Sciences, Shanghai University, Shanghai 200444 China)

Abstract To solve the time redundancy of FPD gray scale imaging process, the fractal principle is firstly applied to the FPD scanning system in this paper and the optimal scanning architecture is deduced and its fractal model is proposed. Firstly, an optimal topology is constructed for digital display system whose memory space is incised into several sub-partitions with different time dimensions. Then, we established the fractal scanning model used in “time gray scale” and “sub-partition” topology and deduced the fractal dimension of FPD discrete space. Based on the fractal model, the self-similar fractal scanning of time gray scale is carried out in every sub-partition. This paper proved the optimization of the fractal scanning architecture in theory, and the experimental results also indicated that it could raise the scanning efficiency, improve the imaging quality apparently without changing the scanning frequency of current digital flat panel display systems.

Key words flat panel display; optimal scanning architecture; time redundancy; fractal scanning; gray scale

1 引言

平板显示器 (Flat Panel Display, FPD), 包括等离子 (PDP)、液晶 (LCD)、有机电致发光 (OLED)、发光二极管 (LED) 等新型平板显示器, 融合了微电子技术 with 显示技术, 具有薄形、低压、低功耗、无辐射、易于和 VLSI 匹配等优点, 正逐步取代 CRT 显示器, 其趋势是向高分辨率、高灰度级方向发展. 然而, 目前无论采用哪一种平板存储型显示设备, 其成像扫描原理都延续或遵从传统的模拟视频标

准, 在显示成像过程中将逐行扫描对应于数字显示的逐行存储, 传统方法要求有非常快的视频图像存储空间的数据向发光介质空间的传递速度, 这种传递速度随着表示显示灰度等级的数据位数的提高而成倍的增加, 提高核心运算实体时钟速度必将伴随着半导体材料和加工工艺的提高, 为降低传递速度采用的分块小单元逐行逐点扫描方法则大大增加了平板显示器驱动电路的生产成本. 所以在追求 FPD 视频的高清晰度、超高灰度和高还原度的同时, 仅将目光集中于数字化显示系统的材质或图像编解码压

缩的前端处理上是足够的,还必须重视数码图像信息向物理发光体成像扫描(映射)的中间状态,研究 FPD 存贮空间中灰度信息在时间分布中存在的、数据、时间冗余问题,这是解决存贮空间到显示平面的传递速度瓶颈问题的关键所在。

针对平板显示系统扫描形成灰度图像过程中的时间冗余问题,本文提出了平板显示系统灰度图像的最优扫描结构及分形模型,将显示系统的数字显示存贮空间分切成若干个具有不同时间维数的空间划分,然后根据分形模型对每一维空间划分实施自相似时间灰度分形扫描。文中从理论上证明了该模型的最优性,并用实验结果表明该方法在不改变现有数字存贮型显示系统扫描频率的前提下可提高平板显示系统扫描效率,提高平板显示系统的成像质量。

2 FPD 系统最优扫描结构的理论推导

2.1 FPD 灰度扫描原理及基本结构

像素的灰度等级是指像素亮度深浅的层次,常用方法是从时间上控制显示单元的发光时间以改变发光亮度的灰度时分扫描法,也是 FPD 系统显示控制驱动芯片主要的灰度控制方法,其研究重点在于时序控制。

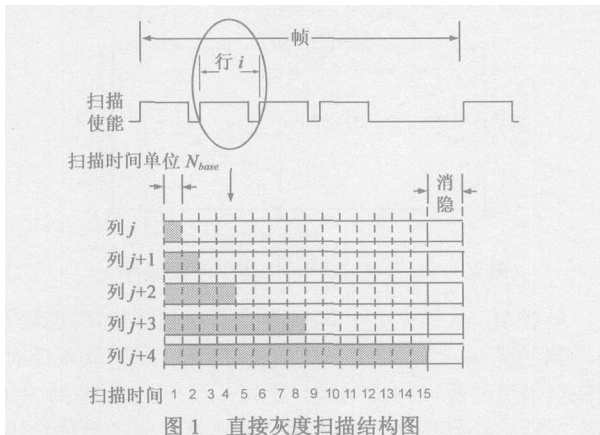


图 1 直接灰度扫描结构图

灰度时分的直接灰度扫描原理如图 1 所示,每一列像素根据灰度值扫描其相应时间(图中黑色部分),通过脉宽调制控制灰度。当扫描帧频 F 达到 60Hz 以上,人眼就基本感觉不到闪烁,只能感受到亮度变化。定义扫描时间单位 N_{base} 为灰度值为 1 的像素的有效发光时间,其时间长短可由扫描单位时间寄存器决定,它决定了屏幕帧、行刷新频率^[1,2]。

图 1 中一行具有 15 个扫描时间单位,可产生包括 0 在内的 16 种灰度值,列 j 至列 $j+4$ 列分别扫描了单位时间为 1、2、4、8、15 的灰度值,消隐定义为每行扫描完成后控制器发出的行驱动输出无效信号,其时间长度由消隐寄存器决定。直接灰度扫描法将扫描时间分为许多时间单元 N_{base} ,每一个 N_{base} 的扫描都需要传输一次列数据, n 级灰度扫描将传送 n 次间隔时间为 N_{base} 的数据。若 n 很大, N_{base} 将会超过数据传送单位时延 T_{stmp} , 则无法完成数据传送,因而不能

扫描出完整画面或者使扫描频率降低。通常帧频 F 越大,灰度级别越高,显示效果越好,但要求的数据传送工作频率将呈现指数级增长。

假设图像上的每一个像素点使用 b 个数据位来表示它的灰度值 (2^b 级灰度),就图像上的任何一个点来说,为了达到它所要求的显示灰度,控制器可以先将该点的最低位传送到显示子系统上,根据最低位所对应的权值定义,经过相应时间延迟后,控制器再传出次低位的显示数据,直到最高位传送完成并经过相应时间延迟后,该点的灰度效果就显现出来,在这整个过程中,控制器只需传送 b 次,各次传送之间的时间间隔须与数据位的权值相对应,这就是灰度时分的恒定权值扫描法^[3,4]。

显然灰度时分的恒定权值扫描法的扫描效率远远高于直接灰度扫描法,但是就显示平面上的一个局部区域来说,传送数据所需的时间远小于灰度生成所需的时间,由此产生了时间冗余,在这个时间冗余里,控制器可以对其他区域进行传送以生成该区域的灰度,如果两者的时间冗余位置正好相互交错,那就是对时间冗余的利用,这种利用可以提高扫描的效率,在安排合理的情况下,可以有更多的区域相互交错,甚至可以充满全部冗余时间,这就需要从理论上推导并证明这种 FPD 灰度显示的最优扫描结构,以及具有通用性的理论模型。

2.2 FPD 灰度显示的最优扫描结构

首先我们先要确定可以交错的区域,即最大划分数,然后导出可最大限度利用时间冗余率的最优扫描结构。

将整个显示平面称为一个空间,将具有相同权值顺序的显示区域合并在一起称为一个划分,也就是对空间的划分,扫描时在划分内部遵循“逐行逐列”的扫描方法,而在划分之间可以是跳跃式的。

截取平板数字存储型显示器的一个数字存贮扫描行(扫描行中每个像素点有 b bit 数据代表 2^b 级灰度值),向后旋转 90° ,与时间坐标共建一个平行四边形的扫描时空,因灰度与时间成正比,称灰度时空平面,用横坐标表示时间,纵坐标表示空间划分。在灰度时空平面上,每个时间最多只能对应一个划分,而每个划分上一帧内可以有 b 次时间与之对应,各次之间的时间间隔正好是权值的一种排列^[5]。

对于 2^b 级灰度的 b 个 bit 按恒定权值扫描法,其 b 次扫描的时间间隔为 $2^{b-1}, \dots, 2^1$ (最后一个间隔 1 是上一个周期 b 次扫描中的最后一个点与下一个周期 b 次扫描中的第一个点的间隔)。为了充分利用每次间隔(时间冗余),所以其空间最大划分数应为 2^{b-1} 。

在每一个划分空间中有 b 个扫描点 (b 次扫描),所以 2^{b-1} 个划分总共就要有 $b \cdot 2^{b-1}$ 个扫描点,这些扫描点必须要在不同的时刻打上,并且任何时刻也不能不打点(即任何时刻必须打一个点,也只能打一个点),于是时间深度为 $b \cdot 2^{b-1}$ 。综上所述我们有:

定理 1 对于 b 个 bit 的扫描方式, 一个空间划分为 2^{b-1} , 时间深度为 $b2^{b-1}$ 的扫描结构是使扫描效率达到最大的必要条件.

若用一个只含 0, 1 元素的矩阵 M_b 表示一个 b 个 bit 的扫描结构, 并记 $\mathbf{1}$ 为一个每个元素为 1 的 n 维列向量.

定义 1 M_b 称为 b 个 bit 的最优扫描结构, 如果它满足:

- (1) M_b 是一个 $2^{b-1} \times b2^{b-1}$ 阶矩阵.
- (2) M_b 的列和为 $1'_b 2^{b-1}$.
- (3) M_b 的行和为 $b1'_2 2^{b-1}$.
- (4) 将 M_b 的每一行相邻两个 1 的距离按从大到小排列 (最后一个 1 和第一个 1 的距离按 $b2^{b-1}$ 周期延拓), 最大的距离 $\geq 2^{b-1}$, 次大的距离 $\geq 2^{b-2}$, ..., 最小的距离 ≥ 1 .

为了得到一个一般的最优扫描结构, 先引进一个矩阵变换的记号:

$$T_{m,n}(A_{m,n}) = \bar{A}_{m,n} \quad (1)$$

其中 $A_{m,n} = (a_{ij})_{m \times n}$, $\bar{A}_{m,n} = (\bar{a}_{ij})_{m \times n}$ 为 $m \times n$ 阶矩阵, 它们满足:

$$\bar{a}_{ij} = a_{m-i+1, n-j+1} \quad (1a)$$

$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

现在在 b 个 bit 的扫描结构 M_b 的基础上, 构造 $b+1$ 个 bit 的扫描结构:

$$M_{b+1} = \begin{pmatrix} L_{2^b} & M_b & O \\ O & M_b & \end{pmatrix} \quad (2)$$

这里 $L_n = (l_{ij})_{n \times n}$ 是 $n \times n$ 阶方阵, $l_{ij} = \delta_{i+1, j}$, O 是 $2^{b-1} \times b2^{b-1}$ 阶零矩阵. 以下定理表明在一定前提下, M_{b+1} 是 $b+1$ 个 bit 的最优扫描结构.

定理 2 如果 M_b 是 M_{b+1} 与相似的 b 个 bit 的最优扫描结构, 则由式 (2) 构造的 M_{b+1} 是 $b+1$ 个 bit 的最优扫描结构.

证明 我们逐条验证 M_{b+1} 满足定义 1 中的四个条件.

M_{b+1} 显然是一个 $2^b \times (b+1)2^b$ 阶矩阵. 由于 M_b 是与 M_{b+1} 相似的 b 个 bit 的最优扫描结构 (它的左侧是 L_{2^b} 子矩阵), M_b 的列和为 $1'_b 2^{b-1}$, M_b 的行和为 $b1'_2 2^{b-1}$. 于是根据构造式 (2), 有 M_{b+1} 的列和为:

$1'_{2^b+b2^{b-1}+b2^{b-1}} = 1'_{(b+1)2^b}$, M_{b+1} 的行和为 $(b+1)1'_2 2^b$, 所以对于 M_{b+1} 定义 1 中的 (2), (3) 被满足.

为了证明 M_{b+1} 满足定义 1 中的 (4), 首先考虑 M_{b+1} 的第 i ($2^{b-1} + 1 \leq i \leq 2^b$) 个分割子空间, 由 M_{b+1} 与 M_b 的相似性, 新增的扫描点 (位于 L_{2^b} 的第 i 行, 第 $2^b - i + 1$ 列) 与 M_b 同行左侧第一个点 (位于 M_b 的第 $i - 2^{b-1}$ 行, 第 $2^{b-1} - (i - 2^{b-1}) + 1 = 2^b - i + 1$ 列) 的距离为 L_{2^b} 的宽度与 M_b (即 M_b) 的宽度之和: $2^b + b2^{b-1} > 2^b$. M_b 右侧第一个点与新增的扫描点的距离 (注意是周期延拓) 就等于 b 个 bit 时与 M_b 右侧第一个点的距离, 根据 M_b 是一个最优扫描结构, b 个点之间的距离满足定义 1 中的 (4), 故 M_{b+1} 第 i ($2^{b-1} + 1$

$\leq i \leq 2^b$) 个分割子空间中 $b+1$ 个点之间的距离满足定义 1 中的 (4).

然后考虑 M_{b+1} 的第 i ($1 \leq i \leq 2^{b-1}$) 个分割子空间, 由于子矩阵 ($M_b \ O$) 刚好是子矩阵 ($O \ M_b$) 经过 (1) 所定义变换 $T_{2^{b-1}, b2^{b-1}}$ 而得, 因此情况完全与 $2^{b-1} + 1 \leq i \leq 2^b$ 情形对称, 只是 L_{2^b} 的第 i 行, 第 $2^b - i + 1$ 列个点与 M_b 右侧第一个点的距离 (注意是周期延拓) 等于 $2^b + b2^{b-1}$, 而与 M_b 左侧第一个点的距离则等于 b 个 bit 时 M_b 右侧第一个点与 M_b 左侧第一个点的距离. 所以 M_{b+1} 满足定义中的 (4). 证毕

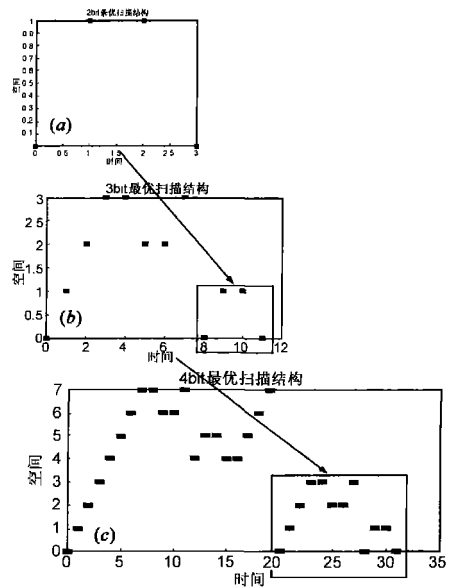


图 2 FPD 灰度时空平面的最优扫描结构

显然 $M_1 = (1)$ 是 1 个 bit 时的最优扫描结构, 由定理 2 将得到一般 bit 数的最优扫描结构 (见图 3). 2 bit 灰度时空映射平面的最优扫描结构 (图 2(a)), 经迭代得到 3 bit (图 2(b)), 4 bit (图 2(c)) 灰度时空映射平面的最优扫描结构图, 呈现了严格的自相似性. 而且从图 2 中还可以看到式 (2) 所示的一个扫描结构的构造过程. 这是一个自相似的迭代过程, 但还不构成一个分形, 因为它不是无限可分的. 所以我们必须经过一定变换而建立通用最优扫描结构的分形模型.

3 最优扫描结构的分形模型

3.1 最优扫描结构的分形模型

对上述最优扫描结构 M_b 作如下变换: 设 (t, x) 是 M_b 中的一个扫描点, 则令

$$\begin{cases} t = \frac{t}{b2^{b-1}}, & t = 0, 1, 2, \dots, b2^{b-1} - 1 \\ \xi = \frac{x}{2^{b-1}}, & x = 0, 1, \dots, 2^{b-1} - 1 \end{cases} \quad (3)$$

显然这是一个连续的一一变换. 在此变换下, 得到新的

扫描结构 N_b , 对任何 b , 其扫描点均在 $[0, 1) \times [0, 1)$ 之间.

图 3(a) 展示了通过变换 (3) 后得到的 4bit (16 级灰度)、图 3(b) 为 8bit (256 级灰度) 的最优分形扫描结构. 随着比特数的不断增加, 扫描结构图渐渐趋向于一个具有无限可分的自相似分形. 这种结构相当于在有限时间和有限空间内的一个高 bit 最优扫描结构的理想情况. 接下来讨论当 $b \rightarrow \infty$ 时, N_∞ 的分形结构.

由于在上述最优扫描结构中左侧的线性扫描部分为

$$\xi_{t=b} = 0, \frac{1}{b2^{b-1}}, \dots, \frac{2^{b-1}-1}{b2^{b-1}}$$

当 $b \rightarrow \infty$ 时, 上述 2^{b-1} 个点组成的直线集子集趋向于 $\{(t, \xi) | t=0, \xi \in [0, 1) \cap C\}$, 这里 $C = \{0, \frac{2^k-1}{2^n}, k=1, 2, \dots, 2^{n-1}; n=1, 2, \dots\}$. 由构造式 (2), 每一个图形与其右下角 $\frac{b-1}{2b} \times \frac{1}{2}$ (当 $b \rightarrow \infty$ 时, 即为 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$) 图形相似, 所以在 $t = \frac{1}{2}$ 处应该有垂直线集子集 $\{(t, \xi) | t = \frac{1}{2}, \xi \in [0, \frac{1}{2}) \cap C\}$, 在 $t = \frac{3}{4}$ 处有 $\{(t, \xi) | t = \frac{3}{4}, \xi \in [0, \frac{1}{4}) \cap C\}$,, 又由于每一个右下角图形都以其左上角为对称点翻转对称, 于是得到 N_∞ 的结构为:

$$N_\infty = \{(t, \xi) | t=0, \xi \in [0, 1) \cap C; t = \frac{2^k-1}{2^n}, \xi \in [1 - \frac{k}{2^{n-1}}, 1 - \frac{k-1}{2^{n-1}}] \cap C, k=1, 2, \dots, 2^{n-1}, n=1, 2, \dots; \text{其它 } t \in [0, 1), \xi = 1-t\}$$

其图像如图 3(c) 所示.

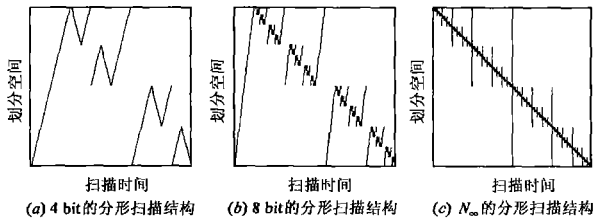


图 3

3.2 分形模型的 Hausdorff 维数

定理 3 N_∞ 的 Hausdorff 维数等于 1

证明 由于 N_∞ 的嵌入空间维数是 2 我们用一系列边长为 $(\frac{1}{2})^n$ ($n=1, 2, \dots$) 闭正方形去覆盖 N_∞ . 显然 $n=1$, 只需 3 个闭矩形就可以将 N_∞ 覆盖. $n=2$ 时, 根据 N_∞ 的自相似构造特性, 共需要 9 个边长为 $\frac{1}{2^2}$ 的闭矩形覆盖 N_∞ . 一般地, 记 $N(1)$ 为覆盖 N_∞ 所需要的边长为 1 的闭矩形的最少个数. 对边长为 $\frac{1}{2}$ 的矩形, 根据上述分析有:

$$N\left(\frac{1}{2}\right) = 2N\left(\frac{1}{2^2}\right) + 2^1 - 1 = 2\left(2N\left(\frac{1}{2^3}\right) + 2^{2-1} - 1\right) + 2^1 - 1 = 2^2 N\left(\frac{1}{2^3}\right) + 2 \cdot 2^1 - (1+2) = 2^2 \left(2N\left(\frac{1}{2^4}\right) + 2^{3-1} - 1\right) + 2 \cdot 2^1 - (1+2) = 2^3 N\left(\frac{1}{2^4}\right) + 3 \cdot 2^1 - (1+2+2^2) \dots = 2^{n-1} N\left(\frac{1}{2^n}\right) + (n-1) \cdot 2^1 - \sum_{j=0}^{n-2} 2^j = 3 \cdot 2^{n-1} + (n-1) \cdot 2^n - (2^{n-1} - 1) = n \cdot 2^n + 1$$

于是 N_∞ 的 Hausdorff 维数等于:

$$d_H = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln N\left(\frac{1}{2^n}\right)}{\ln 2^n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln(n \cdot 2^n + 1)}{n \ln 2} = 1$$

4 分形模型在 FPD 系统中的应用

在具有 b 位数据灰度的平板显示系统中, 点时钟是用于衡量扫描方式可行性的一种标准. 在一个平板显示扫描系统中, 点时钟的要求为:

点时钟
= 刷新频率 * 扫描行数 * S_b * 每分维点数
= 刷新频率 * 扫描行数 * S_b * 每行点数 M_b
= 刷新频率 * 扫描行数 * 每行点数 * S_b * M_b
= 刷新频率 * 扫描行数 * 每行点数 * $(b+1) R_b$

其中 M_b 为空间划分数, S_b 为扫描总高度, 为扫描深度加空间划分数. 点时钟要求正好与扫描利用率 R_b 成反比. 在相同刷新频率、扫描行数、每行点数、灰度等级下, 扫描有效利用率越高, 点时钟的要求就越低. 所以扫描有效利用率是用来衡量扫描方式好坏的一个重要指标. 点时钟是用于衡量扫描方式可行性的一种标准^[6].

假设刷新频率为 50Hz, 每帧扫描 16 行, 每行 1024 点下, 点时钟的要求为:

$$\text{点时钟} = 50\text{Hz} * 16 * 1024 * S_b * M_b = 0.8192 * S_b * M_b \text{ (MHz)}$$

R_b 为扫描有效利用率. 点时钟要求正好与扫描利用率成反比. 所以扫描有效利用率是用来衡量扫描方式好坏的一个重要指标. 可以推导: 传统的线性扫描方式的扫描效率为:

$$R_b = (b+1) / 2^b$$

用 FPD 的最优扫描结构导出的分形扫描方法可得到 100% 的扫描效率:

$$R_b = 2^{b-1} * (b+1) / 2^{b-1} * (b+1) = 100\%$$

极大地降低了点时钟频率 (见表 1), 256 级灰度显示时点

时钟频率要求比传统方式降低了 29 倍, 而且扫描方式具有明显的规律性, 将最优扫描结构及分形模型用于 OLED 和 LED 平板显示系统中, 并在此基础上推导非传统、抗逻辑竞争的计数算法, 根据非传统、抗竞争计数算法构建的大规模时序逻辑电路单元块设计的 LED 平板显示器系统如图 (4) 所示, 系统由显示卡、视频传送卡、分形扫描控制卡以及平板显示面板四部分构成。该系统已成功应用于上海、北京等体育场馆的多个大型 LED 多媒体显示系统中, 实物系统的应用结果证明该方法能降低平板显示器的扫描时钟频率, 在不改变现有数字存储型显示系统扫描频率的前提下, 利用人工视觉存储时间冗余大幅度提高显示色彩数据深度, 从而提高平板显示系统的成像质量。

表 1 分形扫描方法与传统方法的比较

| 扫描方法 | 灰度 | 效率 R_b | 点时钟 (MHz) |
|------|------|----------|-----------|
| 传统方法 | 16 | 31.25% | 13.11 |
| 分形方法 | 16 | 100.0% | 4.10 |
| 传统方法 | 256 | 3.52% | 209.72 |
| 分形方法 | 256 | 100.0% | 7.37 |
| 传统方法 | 1024 | 1.07% | 838.86 |
| 分形方法 | 1024 | 100.0% | 9.01 |

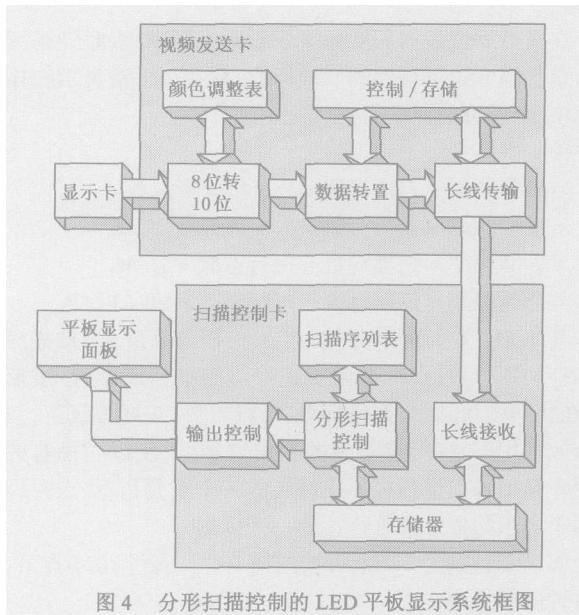


图 4 分形扫描控制的 LED 平板显示系统框图

参考文献:

- [1] D Prihat, F Phis Matrix addressing for organic electro lum inescence displays [J]. Thin Solid Films, 2001, 383(1-2): 25 - 30
- [2] 王宇, 朱为. LED 显示屏实现高质量图像显示的扫描算法分析 [J]. 电子器件, 2004, 18(4): 436- 439
- [3] 钟锐, 应征. 液晶显示多行扫描驱动芯片设计 [J]. 固体电子学研究与发展, 2003, 23(4): 447- 453
- [4] 曹允. 大屏幕彩色 PDP 的驱动方法与实现. 液晶与显示 [J]. 2003, 27(3): 290- 297
- [5] RAN Feng XU Mei-hua, Chen Zhang-jin, Ji Yuan Methodology research & ASIC design for OLED scan driver [A]. 2005 7th IEEE CPM T Conference on High Density Microsystem Design and Packaging and Component Failure Analysis Proceedings [C]. Shanghai Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2005 525- 529.
- [6] XU Mei-hua RAN Feng Fractal scanning method based on space-time sub-partition for FPD [A]. 2005 7th International Conference on Electronic Measurement & Instruments Proceedings [C]. Beijing Published by the International Academic Publishers/Beijing World Publishing Corporation 2005 3-272-3-276

作者简介:



徐美华 女, 1957 年出生, 上海大学机电工程与自动化学院副教授, 博士。主要研究方向为信号处理、新型显示技术及应用。获上海市科技进步奖 1 项, 完成科研项目 20 余项, 在研项目 3 项, 发表论文 30 余篇。

Email mhxu@staff.shu.edu.cn

陈章进 男, 1968 年 11 月出生, 上海大学计算中心副教授、在读博士。主要研究领域为微电子及集成电路设计, 多媒体支持下的高清晰度平板显示技术。