

# CSTN-LCD驱动算法模型及硬件实现

佟国香<sup>1</sup>, 姜书艳<sup>2</sup>, 罗刚<sup>3</sup>

(1. 上海理工大学计算机工程学院 上海 杨浦区 200093; 2. 电子科技大学自动化工程学院 成都 610054;  
3. 成都电子机械高等专科学校机械工程系 成都 610031)

**【摘要】**针对多线寻址驱动方案,以驱动算法的数学理论为基础,建立了可由EDA工具综合的硬件驱动算法模型。该算法模型综合了FRC-PWM灰度技术的解决方案,通过FPGA验证,实现了在保证CSTN-LCD显示效果的前提下使电路设计达到最优化。

**关键词** 数学模型; 超扭曲向列型液晶显示; 多线寻址; 脉宽调制; 帧频控制  
**中图分类号** TN911 **文献标识码** A

## CSTN-LCD Algorithm and Hardware Implementation

TONG Guo-xiang<sup>1</sup>, JIANG Shu-yan<sup>2</sup>, LUO Gang<sup>3</sup>

(1. Institute of Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology Yangpu Shanghai 200093;  
2. School of Automation Engineering, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054;  
3. Mechanical Engineering Department, Chengdu Electro-Mechanic College Chengdu 610031)

**Abstract** For the lower cost and power consumption, STN-LCD has been widely used in low and mid-end mobile applications. Based on the mathematical description, a multiple line addressing scheme is approved. We built a mathematical model that can be synthesized by EDA tools for hardware. Combined with the FRC-PWM solution of grey shading, the model is validated by FPGA. As a result, the circuit is optimized for guaranteeing the display quality of CSTN-LCD.

**Key words** mathematical model; color super-twisted nematic-liquid crystal display; multiple line addressing; pulse width modulation; frame rate control

超扭曲向列型液晶显示屏(Super-Twisted Nematic-Liquid Crystal Display, STN-LCD)以其在成本及功耗方面的优势,被广泛应用于中低档手机、PDA等产品<sup>[1]</sup>。对STN-LCD的驱动方法可以概括为传统的驱动方式、高频寻址驱动方式和多线寻址(Multiple Line Addressing, MLA)驱动方式<sup>[2]</sup>。前两种驱动方式在原理上基本相同,公共端的驱动是以行顺序扫描Y方向的电极,段驱动是按照液晶显示屏(Liquid Crystal Display, LCD)控制电路的信号在X方向电极产生不同的电压,通过交点上的电压差决定该像素是否被点亮。而多线寻址是将段驱动电路送出的信号经过矩阵运算后生成对应的电压选择信号,再由此产生适当的电压送给LCD,且每个像素的电压是经过多次的电压累积而成。又由于具有低驱动电压,且一次可以送出多个Y方向电极的扫描信号,降低了画面的更新频率,使得多线寻址技术在对对比度、圆框频率、功耗及电路干扰等方面具有优势,因此目前仍占有LCD市场的一定份额。彩色STN-LCD(Color STN-LCD, CSTN-LCD)的显示原理是在传统单色STN液晶显示器上加一彩色滤光片,并将单色显示矩阵中的每一像素分成三个子像素,分别通过彩色滤光片显示红、绿、蓝三种原色,进而显示出彩色画面。本文基于多线寻址驱动方式介绍CSTN-LCD的驱动控制的实现。

### 1 多线寻址驱动MLA的数学模型

LCD的亮度不仅与液晶的电压有关,还与电压持续的时间有关。LCD的亮度可以用均方根(Root of Mean Squares, RMS)来表示<sup>[3]</sup>。计算公式如下:

收稿日期:2006-03-20

作者简介:佟国香(1968-),女,硕士,讲师,主要从事嵌入式系统设计及数字电路系统设计与应用方面的研究。

$$\langle U_{ij} \rangle = \frac{1}{\sqrt{T}} \left( \int_0^T U_{ij}(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

用一次扫描一行的驱动方式速度缓慢,且随着STN-LCD响应时间的缩短,在驱动电压消失后,LCD亮度会逐渐变暗。这种亮度的衰退会随着行数的增加更为明显。如果提高驱动电压,其代价对集成电路来说过于昂贵;如果提高扫描频率,其功耗会成平方级地增大,同时还会引入交叉效应。所以通过引入MLA技术,即一次扫描驱动多行的方法,既缩短了帧时,又提高了亮度和对比度。

### 1.1 无灰度情况下的MLA

MLA(多线寻址)的实现,是将同时要驱动的行在某一列上的显示信息乘以一个正交矩阵来产生列驱动信号,这个正交矩阵同时也用来产生行驱动信号。如果用一个 $N$ 行 $M$ 列的矩阵 $I$ 来表示存放需要在LCD上显示的像素信息,在周期 $T$ 里,每一行和每一列都分别被行信号 $F_i(t)$ 和列信号 $G_j(t)$ 驱动, $i=1,2,\dots,N$ ;  $j=1,2,\dots,M$ ,其表达式为<sup>[4-5]</sup>:

$$G_j(t) = c \sum_{i=1}^N I_{ij} F_i(t) \quad (2)$$

式中  $c$  为一个与像素信息无关的比例常数,它的值直接影响LCD的对比度,  $c = \frac{1}{\sqrt{N}}$ ;  $I_{ij}$  表示第 $i$ 行第 $j$ 列的像素信息,  $I_{ij} = +1$  表示像素不点亮(用OFF像素表示),  $I_{ij} = -1$  表示像素点亮(用ON像素表示)。设作用在这一点像素电压为 $U_{ij}(t)$ ,则:

$$U_{ij}(t) = F_i(t) - G_j(t) \quad (3)$$

结合式(2)和式(3),并使行驱动信号之间正交,即:

$$\frac{1}{\sqrt{T}} \left( \int_0^T F_i(t) F_k(t) dt \right)^{\frac{1}{2}} = \begin{cases} F & j=k \\ 0 & j \neq k \end{cases} \quad (4)$$

可得:

$$\langle U_{ij} \rangle = F(1 - 2cI_{ij} + Nc^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

由此可见,一个像素的RMS只与其本身的像素信息有关,它的显示状态不会受到同一列上的其他像素的影响,因此就避免了交叉效应。

### 1.2 有灰度级的MLA

当图像有灰度时,像素的亮度可以介于最亮( $I_{ij}=-1$ )和最暗( $I_{ij}=+1$ )之间,即 $I_{ij}$ 的值可以是 $[-1, +1]$ 区间里的任意实数,式(5)将不再成立,取代它的将是:

$$\langle U_{ij} \rangle = F(1 - 2cI_{ij} + c^2 \sum_{i=1}^N I_{ij}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

从式(6)可以发现,如果一次驱动 $N(N>1)$ 行,那么一个像素的RMS除了与它本身的像素信息有关外,还与同一列上的其他 $N-1$ 个像素的信息有关。于是,灰度级的支持又重新引入了交叉效应。为了解决这个问题而使式(5)重新成立,则需要对式(6)做如下修改:

$$\langle U_{ij} \rangle = F \left( 1 - 2cI_{ij} + c^2 \sum_{i=1}^N I_{ij}^2 + c^2 \left( N - \sum_{i=1}^N I_{ij}^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

对于式(7)中加上的  $c^2 \left( N - \sum_{i=1}^N I_{ij}^2 \right)$  项,只要在 $G_j(t)$ 上加上一个校正项即可,该校正项为:

$$G_j(t) = c \sum_{i=1}^N I_{ij} F_i(t) + c \left( N - \sum_{i=1}^N I_{ij}^2 \right)^{\frac{1}{2}} F_{N+1}(t) \quad (8)$$

式中  $F_{N+1}(t)$  是和 $F_i(t)$ 正交的向量。第 $N+1$ 行是虚拟行;  $\sqrt{N - \sum_{i=1}^N I_{ij}^2}$  是虚拟像素。用于校正列驱动信号以避免交叉效应。并且将 $F_{N+1}(t)$ 作为行信号输出。将  $c = \frac{1}{\sqrt{N}}$  代入式(8),同时设  $I_{N+1} = \sqrt{N - \sum_{i=1}^N I_{ij}^2}$ , 则有:

$$G_j(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N I_{ij} F_i(t) + \frac{1}{\sqrt{N}} I_{N+1} F_{N+1}(t) \quad (9)$$

## 2 MLA的硬件实现

将MLA算法应用到IC设计需要进行一些转化。在硬件上,图像的像素信息以二进制的形式存放在RAM中,矩阵I中的每一个元素代表了RAM中对应位置的像素信息。行驱动信号以脉冲的形式输出,如果行信号有T列,则把行信号在一个周期里分为T个时隙,第i行信号在第i个时隙里的输出与行信号里的第i行第j列对应。如果 $F_i(t) = +1$ ,则该行该时隙输出信号为+S;如果 $F_i(t) = -1$ ,则该行该时隙输出信号为-S。由式(9),每个时隙中第i行第j列像素信息在LCD上显示所需的驱动信号如下:

$$[G_j(0) \ G_j(1) \ \dots \ G_j(t)] = [I_{kj} \ I_{(k+1)j} \ \dots \ I_{(K+i)j} \ I_v] \times \begin{bmatrix} F_0(0) \ F_0(1) \ \dots \ F_0(t) \\ F_1(0) \ F_1(1) \ \dots \ F_1(t) \\ \vdots \\ F_i(0) \ F_i(1) \ \dots \ F_i(t) \\ F_v(0) \ F_v(1) \ \dots \ F_v(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中  $I_v$ 为虚拟像素,作为消除交叉效应的第i+1行校正项; $F_v$ 为虚拟行信号。这里,把i行( $1 < i < N$ )做为一组,在一个周期里同时驱动,其他行此时输出零电压,在下一个周期中,对其后的一组进行驱动。同样,对不驱动的组,行信号为零电压。依次类推,直至完成一帧图像的驱动。可以理解为在每一组内进行MLA,组与组之间进行单线寻址(Single Line Address, SLA),从而简化计算,降低电路的复杂度,并提高计算速度。

不同时隙里的列信号的计算并不是一次全部完成的,在第t个时隙里,只需用行信号中该列的数值来计算当前时隙所需的列信号 $G_j(t)$ 。因此将式(10)展开后得:

$$\left. \begin{aligned} G_j(0) &= I_{kj} \times F_0(0) + I_{(k+1)j} \times F_1(0) + \dots + I_{(k+i)j} \times F_i(0) + I_v F_v(t) \\ G_j(1) &= I_{kj} \times F_0(1) + I_{(k+1)j} \times F_1(1) + \dots + I_{(k+i)j} \times F_i(1) + I_v F_v(t) \\ &\vdots \\ G_j(t) &= I_{kj} \times F_0(t) + I_{(k+1)j} \times F_1(t) + \dots + I_{(k+i)j} \times F_i(t) + I_v F_v(t) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

暂不考虑式(9)中的常数N,它可以在列信号输出时由模拟电路控制。在电路设计中可以用1和0分别表征行信号中的元素+1和-1。对于给定行信号的 $G_j(t)$ 的运算即展开为 $I_{ij}$ 和 $I_v$ 的关系式。对于表征灰度的浮点数,采取将RAM中的二进制信息与理论中的浮点数建立映射关系的措施,即如果RAM中的像素信息用 $B_{ij}$ 来表示,映射到理论上的信息为 $-I_{ij}$ ,映射方法如图1所示。根据MLA算法得到的是 $-G_j(t)$ ,再将计算的结果还原成 $G_j(t)$ 。对于有灰度的情况,根据式(9)得:

$$G_j(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N B_{ij} F_i(t) + \frac{1}{\sqrt{N}} B_v F_v(t) \quad (12)$$

在输出列信号前,需要完成 $I_v$ 的计算和当前时隙列信号的计算,与其他像素值相同,它的值在周期T里是不变的,在不同的时隙里不需要重复计算。但必须使用真实的像素计算,因此,采用查表的方式,可以简化运算。其方法如下:

- (1) 建立二进制像素信息 $B_{ij}$ 与理论上的像素信息 $I_{ij}$ 的映射关系。
- (2) 建立 $B_{ij}$ 与 $B_{ij}^2$ 的映射关系。计算 $I_{ij}^2$ ,并进行二进制编码。二进制码的长度视所需的精度而定,用 $B_{ij}^2$ 来表示 $I_{ij}^2$ 对应的二进制码,精确到0.1时,可以用4位二进制数来表示 $B_{ij}^2$ 。

- (3) 计算出 $\sum_{i=1}^N B_{ij}^2$ 的值。

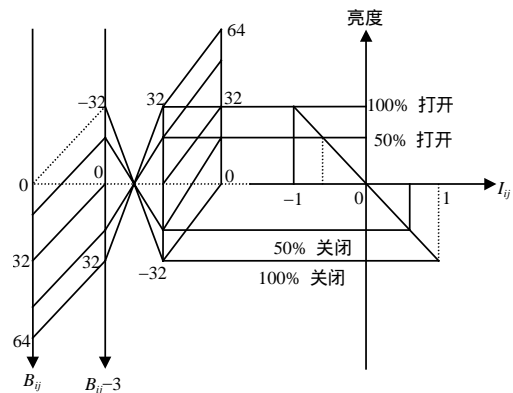


图1 64级灰度理论上的映射方法

(4) 建立  $\sum_{i=1}^N B_{ij}^2$  与  $B_v$  的映射关系, 根据  $B_{ij}^2$  与  $I_{ij}^2$  的对应关系, 就可以得到  $\sum_{i=1}^N B_{ij}^2$  与  $\sum_{i=1}^N I_{ij}^2$  的对应关系, 从而得到  $\sum_{i=1}^N B_{ij}^2$  与  $(N - \sum_{i=1}^N I_{ij}^2)$  的对应关系, 进而得到  $\sum_{i=1}^N B_{ij}^2$  与  $\sqrt{N - \sum_{i=1}^N I_{ij}^2}$  的映射关系。再将  $\sqrt{N - \sum_{i=1}^N I_{ij}^2}$  映射回二进制码  $B_v$ , 虚像素  $B_v$  的计算就完成了。将  $I_v$  的结果代入式(12)便可得到列驱动信号。

### 3 灰度技术

MLA系统输出的数字驱动信号要通过灰度技术转换成驱动LCD的电压信号, 目前主要有帧频控制(Frame Rate Control, FRC)<sup>[6]</sup>、脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)<sup>[7]</sup>和脉高调制(Pulse Height Modulation, PHM)等。

FRC是根据时间将一帧分为几个子帧, 通过选择不同状态(黑和白)的子帧叠加实现不同的灰度, 这种方法存在图像闪烁, 且随着响应时间的缩短, 闪烁现象更为明显。



图2 FRC-MLA-PWM方案显示效果图

PWM是通过调节驱动电压输出的时间来控制和实现灰度的显示, 但随着频率的提高会带来交叉效应和增加功耗。PHM是通过电压调幅实现灰度显示。MLA系统计算得到的驱动信号可以直接做为PHM的数值送给数模转换器(Digital Analog Converter, DAC)进行转换后输出, 它实现的图像质量最好, 但其专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)的成本高。因此, 本文采用折中的FRC-PWM灰度技术, 即先将像素信息进行FRC分布, 再进行MLA运算, 最后进行PWM调制, 从而使每个子帧不再只有黑和白两种状态。它们的状态随着PWM的值的而变化而变化, 从而可以呈现出不同的灰度, 再由这些带灰度的帧叠加后产生最后的灰度。图2为通过FPGA实现64级灰度的效果图。

### 4 结论

通过将MLA的理论算法转换为硬件可实现的算法模型, 采用FRC-MLA-PWM设计方案, 下载到FPGA, 证明该设计方案是可行的。在64灰度等级的显示中实现了消除闪烁, 减少串扰的效果。因此, 通过进一步的优化设计, 可以实现高质量的灰度等级显示。

#### 参 考 文 献

- [1] Kimmel J, Hautanen J, Levola T. Display technologies for portable communication devices[J]. Proceedings of the IEEE, 2002, 90(4): 581.
- [2] Scheffer T J, Clifton B. Active addressing method for high-contrast video-rate STN displays[J]. SID'92 Digest, 1992, 108: 228-231.
- [3] Ruckmongathan T N. Addressing techniques for RMS responding LCDs[J]. IDRC, 1992, 108: 77.
- [4] Nehring J, Kmetz A. Ultimate limits for matrix addressing of RMS-responding liquid-crystal displays[J]. IEEE Trans. Electron Device, 1979, ED-26: 795-802.
- [5] Nehring J, Kmetz A. Ultimate limits for RMS addressing[C]//The Physics and Chemistry of Liquid Crystal devices(ed G Sprokel) Plenum Press, New York, 1980: 105-113.
- [6] Suzuki Y, Sekiya M, Arai K, et al. A liquid-crystal image display[J]. SID'83 Dig. 1983, 99: 32-33.
- [7] Kawakami E, Hanmura H, Kaneko E. Brightness uniformity in liquid crystal displays[J]. SID'80 Digest, 1980, 96: 28-29.

编辑 刘文珍