

文章编号:1007-2780(2014)01-0028-06

液晶显示全局动态调光算法的高效实现方法研究

刘 芬^{1,2}, 张 磊^{1,4}, 韩 东^{1,2}, 吕国强^{1,3*}

- (1. 合肥工业大学 特种显示技术教育部重点实验室 特种显示技术国家工程实验室
现代显示技术省部共建国家重点实验室, 安徽 合肥 230009;
2. 合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 安徽 合肥 230009;
3. 合肥工业大学 光电技术研究院, 安徽 合肥 230009;
4. 合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 动态调光算法包括背光值和液晶像素补偿量确定。通过查表法实现的基于图像分类的 S 曲线调光算法电路存在资源消耗大、处理速度慢等缺陷。本文提出了 2 种算法实现方式: 等差数列法、最小二乘拟合法, 并分别对这 2 种算法进行了仿真分析, 得到其与查找法的最大标准差分别为 1.8 和 0.8。在开发的全局调光液晶电视样机上进行了实际测试, 和查表法得到的像素亮度相比: 等差数列法的误差为 3 个灰度级, 最小二乘法的误差在 1 个灰度级以内。2 种算法都可使电路存储资源的利用率由原查表法的 71% 降低到 4%。仿真和实验结果表明最小二乘法具有更好的效果。

关 键 词: 动态调光; S 曲线; 像素补偿; 实现方法

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20142901.0028

Efficient hardware implementations for global dimming in LCDs

LIU Fen^{1,2}, ZHANG Lei^{1,4}, HAN Dong^{1,2}, LV Guo-qiang^{1,3*}

- (1. Key Laboratory of Special Display Technology of the Ministry of Education, National Engineering Laboratory of Special Display Technology, National Key Laboratory of Advanced Display Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
3. Academy of Photoelectric Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
4. School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The dynamic dimming algorithm consists of two steps: dimming level determination and LC pixel compensation. Look-up-table method is applied in S-curve dimming algorithm based on image classification. In order to solve the shortcomings of large consumption of hardware resources and slow processing speed of this algorithm, this paper proposes two kinds of algorithm implementations:

收稿日期: 2013-06-17; **修订日期:** 2013-06-26.

基金项目: 安徽省 2012 科技计划资助项目 (No. 1206c0805007)

* 通信联系人, E-mail: guoqianglv@hotmail.com

Arithmetic Sequence Method (ASM) and Least-squares Fitting Method (LSFM). The simulation results show that the largest standard deviation is 1.8 and 0.8 of ASM and LSFM, respectively. The practical tests have done on the LCD TV prototype. Compared to the luminance of pixels from look-up table method, the deviation of ASM is less than 3 graylevels and the deviation of LSFM is less than 1 gray-level. The hardware storage resource decreases from 71% of the proposed methods to 4% of look-up-table. The simulation and experimental results show that LSFM is better.

Key words: dynamic dimming; S-curve; pixel compensation; algorithm implementation

1 引言

液晶显示(Liquid Crystal Display, LCD)是目前主流的平板显示技术^[1]。动态调光技术是近年来发展起来的一种用来降低液晶显示功耗、提高显示对比度的技术,分为全局调光^[2-8]和区域调光^[9-14]。全局调光技术是根据要显示图像的内容实时、动态地整体改变背光亮度。

本课题组之前提出的全局调光算法^[7]采用S曲线进行液晶像素调整,由于对所有的图像都采用固定的调整参数,该算法虽能一定程度上提高静态对比度和降低能耗,却对于某些图像存在细节失真。为解决这个问题,课题组提出了基于图像分类的全局动态调光算法^[8],并开发了一套用于测试调光效果的液晶电视样机。算法^[8]在算法^[7]的基础上,将图像分为6类,根据其特征选取不同的调整参数对液晶像素进行补偿,以期获得更好的节能和显示效果。

调光样机中采用现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)电路板实现调光算法。由于调光算法中存在大量的除法和指数运算,为保证视频播放的实时性,调光后液晶像素补偿的数据是通过查找表(Look-Up Table, LUT)的方式进行存储的。由于算法^[8]中对图像进行分类,不同类别图像的液晶像素调整参数不同,导致了查找表中数据量的急剧增加,从而占据了大量的硬件存储空间,造成处理速度慢、电路时序匹配困难,并可能引起调光后图像输出的不稳定。故本文针对算法^[8]中S曲线像素补偿部分需要存储的庞大数据和电路实现处理速度慢等问题,详细分析了查找表中的数据,提出了2种简单、可行、高效的实现方法,旨在优化硬件存储空间和提高硬件处理速度,获得实时显示的高品质画面。

2 基于图像的全局动态调光算法介绍

基于图像分类的液晶显示全局动态调光主要分为2个步骤:(1)确定背光亮度;(2)液晶像素补偿。具体请参阅文献^[8]。

2.1 图像分类

根据图像平均亮度(L)和对比度(R),将图像分为6类,如表1所示。

表1 图像分类情况
Tab.1 Image classification

图像分类	L	R	α 值
低亮低对比度	<60	<300	0.025
低亮高对比度	<60	≥ 300	0.022
中亮低对比度	$140 > L \geq 60$	<300	0.023
中亮高对比度	$140 > L \geq 60$	≥ 300	0.020
高亮低对比度	≥ 140	<300	0.021
高亮高对比度	≥ 140	≥ 300	0.018

2.2 确定背光亮度

背光亮度确定公式如式(1):

$$\begin{cases} K_{BLU} = (\text{lum}_{avg} + k * (\text{lum}_{diff} + \frac{\text{lum}_{diff}^2}{255})) / 255 \\ \text{lum}_{diff} = \text{lum}_{max} - \text{lum}_{avg} \\ k = 0.5, \quad \text{高亮度图像} \\ k = 0.4, \quad \text{中亮度图像} \\ k = 0.3, \quad \text{低亮度图像} \end{cases} \quad (1)$$

式中: lum_{avg} 是所有像素的平均灰度, lum_{max} 是所有像素的最大灰度。整体亮度比较高的图像,背光公式中 k 的取值较大(0.5),以保证整体亮度,避免失真;整体亮度比较低的图像, k 的取值比较小(0.3),以提高节能效果。

2.3 液晶像素补偿

S曲线方程如式(2)所示:

$$L_{out} = \frac{255}{1 + e^{a \times (L_g - L_{in})}}, \quad (2)$$

式中: L_{in} 为输入图像的像素值, L_{out} 为调整后的像素值, a 为根据图像分类后选取的参数值(见表 1), L_g 是 S 曲线的拐点坐标, 由式(3)确定, 其中 L_{25} 是包括所有像素 25% 处的对应灰度值, L_{50} 是包括所有像素 50% 处的对应灰度值。

$$L_g = \frac{L_{25} + L_{50}}{3}. \quad (3)$$

从图 1 的 S 曲线可以看出: 像素亮度低于 L_g 的调节因子小于 1, 高于 L_g 的调节因子大于 1, 以此有效提高静态对比度。

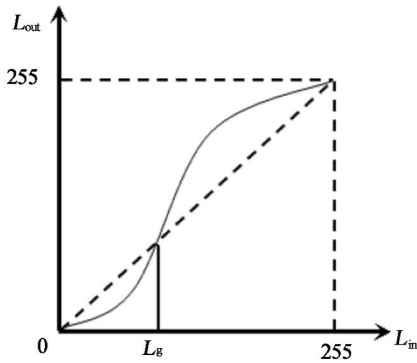


图 1 S 曲线及拐点坐标

Fig. 1 S-curve and the turning point

3 算法实现方式研究

由上述 2.3 可知, 要进行液晶像素补偿, 需要对 S 曲线进行求解得到补偿值 L_{out} 。为满足视频 (60 Hz) 的实时播放, 对于一幅图像的处理 (包括统计、分类、计算背光亮度、图像像素补偿、调光背光亮度、调节像素开度等) 时间应该限制在 $1/60$ s。但用于像素补偿的 S 曲线方程内部不仅包含除法, 还存在指数运算, 电路实现起来将十分复杂, 且计算量庞大。因此, 电路上通常采用查表法来进行非加、减的复杂运算。所谓查表法, 就是将 S 方程的所有输出一一计算出来, 并存入硬件的 ROM 中, 当程序需要这些数据时, 会寻址到所要的位置并读取它。从 S 曲线方程来分析, 影响 L_{out} 值的参数有 a 和 L_g : a 有 6 种选择, L_g 的范围为 (80, 130), 像素输出范围为 (0, 255), 故查找表中的总数据存储量为 $16 \times 6 \times 256 \times 51$ bits, 即 1 253 376 bits。

查表法在一定程度上解决了硬件对实时性和复杂运算的能力不足的问题, 但当存储的数据量过多时, 由于硬件本身存储空间的限制, 实现起来也相当不易。为了减少硬件资源占有量, 提高处理速度和稳定性, 本文对 S 曲线的输出数据进行了详细研究, 提出了 2 种简单、高效的实现方法。

3.1 调光后输出像素数据分析

根据 S 曲线方程 (公式 2), 当 a 值保持不变 (以低亮高对比度图像的 $a=0.022$ 为例) 时, L_g 从 80 变化到 130, 像素点 RGB 最大值和输出像素值之间的关系如图 2 所示 (需要指出, 为了降低对小数部分的取舍造成补偿误差, 制作表格时所有数据是扩大 256 倍来进行存储的)。

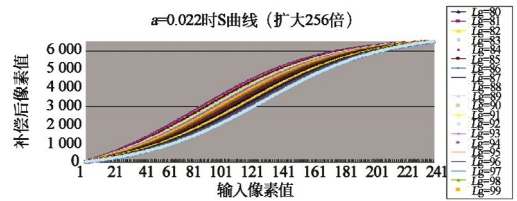


图 2 $a=0.022$, S 曲线随 L_g 的变化

Fig. 2 S-curve with $a=0.022$ and different L_g

可以看出: 当 a 相同时, 不同 L_g 的补偿后像素输出值偏差不大。作运算 $L_{out}(n) - L_{out}(n-1)$ (其中, n 为 $1 \sim 50$, 对应于 L_g 为 $81 \sim 130$), 得相邻两组的输出差值, 如图 3 示。

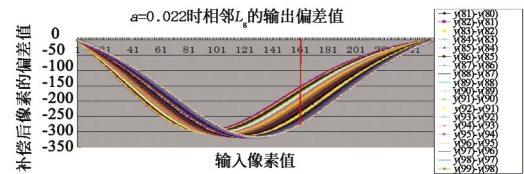


图 3 $a=0.022$, 相邻 L_g 输出像素值的偏差

Fig. 3 Deviation of output pixels value by adjacent L_g with $a=0.022$

从图 3 中可以看出, 相邻两组 L_g 的输出偏差值分布在一定的范围内。对于相同的输入像素值, 偏差值的分布区间有一定的变化。其中当输入像素值为 160 时, 偏差值的分布区间长度最大, 达到 120, 如图 3 中红线所标出。如前所说, 数据扩大了 256 倍, 因此 120 的偏差不足 0.5 个像素值。

3.2 等差数列的实现方式

基于以上的分析可得:相同 α 时,相邻 L_g 的像素补偿输出差值分布在一定范围内。这类数据的处理可使用等差数列的方法,其计算公式如下式(4)所示:

$$L_{i,n} = L_{i,0} + n \times d_i, \quad (4)$$

式中: $L_{i,n}$ 为调光后的像素值, i 为 α 值的种类数,范围为(1,6); n 为组号,从1~50(L_g 从81~130); $L_{i,0}$ 为 $L_g=80$ 、第 i 个 α 值时的像素值; d_i 为第 i 个 α 值时相邻 L_g 输出值的平均差值。因为这里的输入输出针对 256 阶像素值,式中的 $L_{i,0}$ 、 d_i 和 $L_{i,n}$ 则均为 256×1 的列矩阵。

这样,只需要存储 $L_{i,0}$ 和 d_i ,再使用式(4)即能获得需要的所有补偿像素值,大大降低存储空间。对此方法进行仿真,得到与原数据的偏差如图4所示:最大的偏差值为782。如前面所说,数据是扩大256倍存储的,故782的偏差对应于3的像素偏差值,且最大的偏差值出现在160灰度处。

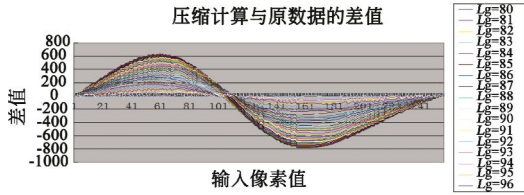


图4 基于等差数列法获得的数据与原数据的偏差

Fig. 4 Deviation between data of ASM and LUT

3.3 最小二乘法的线性拟合实现方法

基于等差数列的实现方式,在降低了数据存储空间的同时,存在3个灰度级的误差。为进一步降低误差,采用最小二乘法线性拟合,如式(5):

$$L_{i,j} = L_{i,0} + j \times d_i$$

$$\begin{bmatrix} m+1 & \sum_{j=0}^m j \\ \sum_{j=0}^m j & \sum_{j=0}^m j^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{i,0} \\ d_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=0}^m L_{i,j} \\ \sum_{j=0}^m j L_{i,j} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中: m 为51(L_g 从80到130),由式(5)得到 $L_{i,0}$ 和 d_i , i 为 α 值种类,范围是(1,6)。该方法需要存储的数据量和上述方法相同。对此方法进行仿真测试,得到与原数据的偏差如图5所示。

从图5中可以看出:基于最小二乘法拟合的数据的最大偏差为518,即存在2个灰度的误差(同样地,从图5中可见最大差值的位置在160左

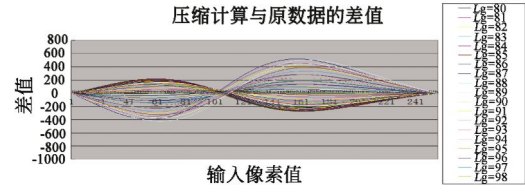


图5 最小二乘拟合法获得的数据与原始数据的偏差

Fig. 5 Deviation between data of LSFM and LUT

右),较等差数列法降低了33%。

4 两种实现方式的仿真分析

如2.1所述,图像分为6类,对应不同的6个 α 值。 L_g 从80到130,对S曲线方程计算出来的数据进行仿真(数据个数为 $256 \times (130-80+1) \times 6 = 78\,336$)。并使用标准差(Standard Deviation, SD)对仿真后的数据进行评估。标准差计算公式如式(6),仿真结果如表2:

$$\begin{cases} \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}, \\ v_i = L_{out i} - S_i \end{cases}, \quad (6)$$

式中: $L_{out i}$ 为使用两种方式实现后的数据, S_i 为使用S曲线直接计算出的查找表数据, n 为数据个数(这里,我们是以不同分类图像对应的 α 值为分组,故 n 为 $256 \times 51 = 13\,056$ 个)。

表2 两种方法仿真后数据标准差

Tab. 2 Simulations of standard deviation of two kinds of implementations

图像分类	等差数列法	最小二乘法
低亮低对比度	476.08	206.16
低亮高对比度	353.07	152.54
中亮低对比度	392.62	169.85
中亮高对比度	277.46	119.98
高亮低对比度	314.75	135.9
高亮高对比度	209.84	90.592

从表2可以看出:使用等差数列法得到的数据的最大标准差为476,相当于1.8像素值的偏差;基于最小二乘法得到的数据最大标准差为206,相当于0.8像素值的偏差。

5 实验验证

图 6 所示的调光工程化样机包括 2 台液晶电视:一台采用传统的背光模式(左边),即背光亮度始终处于最亮状态;另外一台采用全局调光算法(右边),即背光亮度随输入图像动态改变。2 台液晶显示器均接有功率计,实时显示能耗。可以看出,采用调光技术的电视显示相同内容时,功耗低于传统的电视,没有人眼感知的失真。为验证仿真结果的可靠性和实际效果,在调光样机上对等差数列法和最小二乘拟合法进行了电路实现,测试了图 7 所示的 6 幅图片(图片中包括了 30、60、80、90、100、120、150、160、190、210、230、240 等多种亮度)。通过实时抓取输出图片的像素值,并与采用查找表得到的像素补偿值进行比较,结果如表 3 所示。



图 6 全局动态调光液晶电视样机

Fig. 6 LCD TV prototype for global dimming



图 7 测试用 6 幅图片

Fig. 7 Six test pictures

由表 3 可见等差数列法和最小二乘法的最大实际误差均出现在第 3 幅图片中:R 分量分别从未处理的 189 降低为 186 和 188,对应损失 3 和 1 的灰度级。同时,与前面算法研究中图 4、5 中相同:偏差最大的像素值为 160 附近。

图 8 给出了前后算法实现在 Alter Cyclone III 型 FPGA 上硬件资源消耗对比,可以看出:采用本文的两种实现方式后,存储空间由之前的 71%降低到 4%,大大降低了硬件资源。

参 考 文 献:

[1] 董军,柴宝玉,田学彬.液晶显示技术产业发展概述[J].西安邮电学院学报,2012,17(3):102-104.
Dong J, Chai B Y, Tian X B. An overview of liquid crystal display technology industry [J]. Journal of Xi'an

表 3 两种方法测试结果

Tab. 3 Test results of two kinds of methods

测试 图片	原 始 输 入 (R/G/B)	S 曲线输出(R/G/B)		
		查找法	等差数列	最小二乘
1. jpg	80/120/	89/134/	89/133/	89/134/
	200	224	223	224
2. jpg	30/100/	35/116/	34/116/	35/116/
	60	70	69	70
3. jpg	160/70/	189/82/	186/81/	188/82/
	65	76	75	76
4. jpg	90/180/	95/190/	95/190/	95/190/
	230	243	242	243
5. jpg	150/150/	178/178/	176/176/	178/178/
	150	178	176	178
6. jpg	240/210/	248/217/	248/217/	248/217/
	190	196	196	196

Total memory bits	2,812,176/3,981,312(71%)
Embedded Multiplier 9-bit elements	14/576(2%)
Total PLLs	0/4(0%)

Total memory bits	144,288/3,981,312(4%)
Embedded Multiplier 9-bit elements	40/576(7%)
Total PLLs	0/4(0%)

图 8 查找表法和高效实现后的硬件资源占用对比
Fig. 8 Comparison of resource consumption between LUT and proposed implementations

6 结 论

课题组已经开发的基于图像分类的全局动态调光算法的电路实现存在数据存储量大、硬件处理速度慢的缺点。针对存在的问题,提出了 2 种基于误差处理的实现方式:等差数列法和最小二乘拟合法。使用这两种方法对原数据进行仿真分析,其标准差分别为 1.8 和 0.8。同时,对等差数列法和最小二乘拟合法进行电路实现,实际测试结果表明:2 种算法产生的误差分别低于 3 灰度级和 1 灰度级,并可使硬件资源占用从 71%降低至 4%。仿真和实际测试结果均表明:较等差数列法,最小二乘法具有更好的效果。

- University of Posts and Telecommunications, 2012, 17(3):102-104. (in Chinese)
- [2] Kang S J, Kim Y H. Image integrity-based gray-level error control for low power liquid crystal displays [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2009, 55(4):2401-2406.
- [3] Kang S J, Kim Y H. Multi-histogram-based backlight dimming for low power liquid crystal displays [J]. *Display Technology*, 2011, 7(10):544-549.
- [4] Cho H, Kwon O K. A backlight dimming algorithm for low power and high image quality LCD applications [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2009, 55(2):839-844.
- [5] Lai C C, Tsai C C. Backlight power reduction and image contrast enhancement using adaptive dimming for global backlight applications [J]. *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, 2008, 54(2):669-674.
- [6] Feng Q B, Tong H, Lv G Q. An adaptive global LED backlight dimming for contrast enhancement and power reduction [J]. *Journal of Solid State Phenomena*, 2011, 181-182:241-244.
- [7] 冯奇斌, 何会杰, 张伟伟, 等. 用于侧出式发光二极管背光的全局动态调光算法[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(7):1455-1462.
- Feng Q B, He H J, Zhang W W, et al. Global dimming algorithm for side-lit LED backlights [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2012, 20(7):1455-1462. (in Chinese)
- [8] 何会杰, 冯奇斌, 张磊, 等. 基于图像分类的全局动态调光算法[J]. *光学学报*, 2013, 33(8):205-211.
- He H J, Feng Q B, Zhang L, et al. Global dimming algorithm based on image classification [J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(8):205-211. (in Chinese)
- [9] 章小兵, 王茹, 董戴, 等. 基于局部均值和标准差的 LCD 动态背光调整[J]. *液晶与显示*, 2011, 26(5):698-701.
- Zhang X B, Wang R, Dong D, et al. Dynamic backlight adaptation based on local mean and standard deviation for LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(5):698-701. (in Chinese)
- [10] 屠震涛, 郑仁涛, 张小宁. 临界背光亮度法改善 LCD 动态调光中的灰度截断[J]. *液晶与显示*, 2012, 27(3):318-323.
- Tu Z T, Zheng R T, Zhang X N. Critical backlight luminance for reducing clipping artifacts in local dimming LCDs [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(3):318-323. (in Chinese)
- [11] Cho H, Kwon O K. A local dimming algorithm for low power LCD TVs using edge-type LED backlight [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56(4):2054-2060.
- [12] Hsia S C, Sheu M H, Chang Chien J R, et al. High-performance local dimming algorithm and its hardware implementation for led backlight [J]. *Journal of Display Technology*, 2013, 9(7):527-535.
- [13] Shu X, Wu X L, Forchhammer S. Optimal local dimming for lc image formation with controllable backlighting [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, 22(1):166-173.
- [14] Burini N, Nadernejad E, Korhonen J, et al. Modeling power-constrained optimal backlight dimming for color displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2013, 9(8):656-665.

作者简介:刘芬(1989—),女,安徽安庆人,硕士研究生,主要从事 LED 背光动态调光算法、图像处理等方面研究。E-mail: lifen1121@126.com