

文章编号:1007-2780(2014)06-1096-05

LED 背光动态调光算法评估方法研究

方旭东¹, 李亚妮^{2,3}, 冯庆刚¹, 施祖传¹, 冯奇斌^{2,3,*}

(1. 合肥京东方显示光源有限公司, 安徽 合肥 230012;

2. 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;

3. 合肥工业大学 光电技术研究院, 安徽 合肥 230009)

摘要:液晶显示具有对比度和能效不高的问题。动态调光可以有效提高液晶显示对比度,降低能耗。对调光算法进行显示效果和节能率的综合评估才能有效降低该技术的开发风险,进行有针对性的改进和优化。目前尚没有统一的评估方法。本文介绍了现有的主流调光算法,结合峰值信噪比、结构相似性、互相关 3 个参数,提出评价显示效果的显示效果指数。综合节能率,提出平衡显示效果和节能率的调光效果指数。选取了 6 类不同亮度和对比度的图像对多种调光算法计算了调光效果指数,分析了各类算法的适用性。

关键词:动态调光;算法评估;节能

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142906.1096

Evaluation method for dynamic dimming algorithms in LED backlights

FANG Xu-dong¹, LI Ya-ni^{2,3}, FENG Qing-gang¹, SHI Zu-chuan¹, FENG Qi-bin^{2,3,*}

(1. Hefei BOE Display Light Co., Ltd, Hefei 230012, China;

2. 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;

3. Academy of Photoelectric Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Liquid crystal displays have two shortcomings of low CR and power efficiency. Dynamic dimming can help LCD to achieve high contrast ratio and reduce power consumption. The evaluation method balancing display effects after dimming and power-saving ratio can efficiently reduce the development risk. Until now there is no agreed evaluation method. Combining three parameters of peak signal-to-noise ratio, structural similarity index measurement, and mutual information, the display effect index is proposed to evaluate the display effect after dimming. The dimming effect index is then introduced to balance the power-saving and display effect. The images belonging to six classifications of different luminance and contrast ratio are used to make the evaluation on several mainstream dimming algorithms. Based on the dimming effect index, the most suitable applications of the dimming

收稿日期:2014-06-20; **修订日期:**2014-07-14.

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: fengqibin@hfut.edu.cn

algorithms are analyzed.

Key words: dynamic dimming; algorithm evaluation; power reduction

1 引 言

传统的液晶显示(Liquid Crystal Display, LCD)具有对比度和能效不高的问题。动态调光技术能够根据图像内容动态改变背光亮度并对液晶像素进行补偿,有效降低能耗并提高对比度,近年来成为研究热点,出现了众多的调光算法。

低能耗和高显示质量是调光算法追求的目标,也是一对相互矛盾的指标。单纯地追求低能耗而不顾显示质量必将导致最终实现调光算法的液晶电视无法被市场接受。而没有较高的节能率也将使调光技术失去吸引力。在众多的调光算法中,如何科学地、全面地对调光算法进行评估,以降低硬件开发风险,目前尚没有的统一标准。文献[1]对仿真图像采用峰值信噪比(Peak Signal-to-noise ratio, PSNR)判断调光后的图像质量;文献[2]利用了溢出率、对比度和节能率 3 个指标;文献[3]引入了更符合人眼感受的基于对象的评估方法;文献[4-5]则从对比度和节能率的角度分析调光前后图像质量。综合分析,现有方法要么针对节能率要么针对显示效果进行评判,无法给出调光算法对于这两个矛盾指标的综合评价。故本文在深入分析现有调光算法和评价指标的基础上,提出调光效果指数这一评价指标,以期有助于调光算法的改进及优化。

2 现有主要调光算法

最先出现的动态调光算法包括最大值法、平均值法、均方根法、映射函数反转法(Inverse of Mapping Function, IMF)、累积分布函数(Cumulative Distribution Function, CDF)、误差修正法、PSNR 等。最大值法、平均值法、均方根法、标准差法是出现比较早的调光算法,最大值法根据图像所有子像素中亮度的最大值确定背光调光亮度,节能效果很差。平均值法根据图像所有子像素的亮度平均值确定背光调光,节能效果好,但失真严重。鉴于这两种算法存在明显的缺陷,故本文主要针对其他几种算法进行评估。

2.1 均方根法

均方根法^[6-7]先计算图像内所有像素的灰度平均值 L_{avg} ,求其平方根,作为背光调光亮度,如公式(1)所示:

$$BL = 255 \times \sqrt{\frac{L_{avg}}{255}}.$$
 (1)

2.2 标准差法

标准差法^[2]是先计算图像内所有像素的灰度平均值 L_{avg} ,由此均值计算图像的标准差(Standard Deviation, SD)(式(2)),然后得到背光调光亮度,如式(3)所示:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{r \times c} \sum_{i=0}^{r-1} \sum_{j=0}^{c-1} [L(i, j) - L_{avg}]^2},$$
 (2)

$$BL = L_{avg} + SD,$$
 (3)

式中: $L(i, j)$ 是图像像素亮度值。

2.3 IMF 法

IMF^[2]法首先计算图像的亮度累积曲线,然后将此曲线对直线 $y=x$ 进行镜像,获得背光调制的映射反转曲线 IMF,最后将 IMF 曲线与图像的最大值或者其他参数对应,得到调光背光亮度。IMF 曲线如图 1 所示。

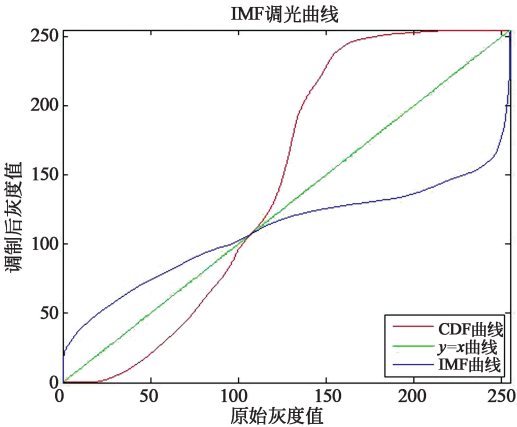


图 1 IMF 法
Fig. 1 IMF dimming algorithm

2.4 CDF 阈值法

CDF 法^[8]将每个红绿蓝子像素中的最大值构成整体亮度图像,根据此图像计算概率密度分布曲线,得到图像的 CDF 曲线,以预设的 CDF 阈值 K 获得的灰度值作为背光调光亮度,如图 2 所

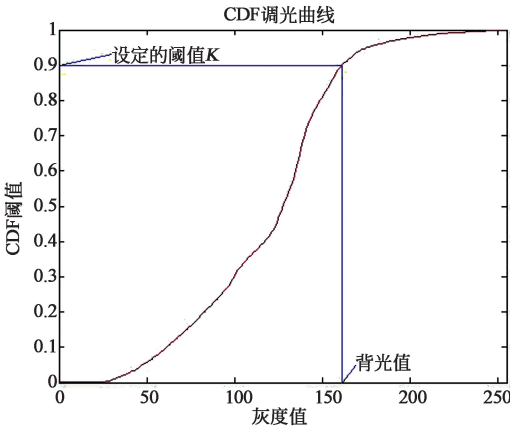


图 2 CDF 法

Fig. 2 CDF dimming algorithm

示(图中阈值 $K=0.9$)。

2.5 误差修正法

误差修正法^[9]根据公式(4)确定背光亮度:

$$\begin{cases} BL = L_{avg} + 0.5 \times (L_{diff} + \frac{L_{diff}^2}{255}) \\ L_{diff} = L_{max} - L_{avg} \end{cases}, \quad (4)$$

式中: L_{avg} 是所有像素的平均灰度, L_{max} 是所有像素的最大灰度。

3 评价方法

调光算法的主要评价指标包括节能率和显示效果。节能率可以通过背光调光亮度获得,是相对来说比较容易定义的指标。显示效果则涉及观看者的主观感受和调光后的图像质量。本文提出显示效果指数(Display Effect Index, DEI)评价调光后显示图像质量,调光效果指数则综合考察了调光算法的节能效果和显示效果。

3.1 显示效果指数

目前用来评价图像质量的主要指标包括均方误差(Mean Square Error, MSE)、PSNR、溢出失真率、图像结构相似性(Structural Similarity Index Measurement, SSIM)、互信息(Mutual Information, MI)等^[10-14]。PSNR 的计算公式如下:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{255^2}{MSE}. \quad (5)$$

考虑到调光前后图像完全一致时(没有节能),PSNR 无穷大不利于处理,故本文选取均方

根误差(Root Mean Squared Error, RMSE)作为评价指标之一,如公式(6)所示。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{r \times c} \sum_{i=0}^{r-1} \sum_{j=0}^{c-1} [L(i, j) - L'(i, j)]^2}, \quad (6)$$

式中: $L(i, j)$ 和 $L'(i, j)$ 分别是调光前后图像像素亮度。

SSIM 从图像组成的角度将结构信息定义为独立于亮度和对比度的、反映场景中物体结构的属性,从高层次上模拟了人类视觉系统,更符合人眼主观感受。SSIM 的计算公式如下:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^a [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma, \quad (7)$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1}, \quad (8)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2}, \quad (9)$$

式中: x, y 为调光前后图像, μ_x, μ_y 表示调光前后图像的灰度平均值, σ_x, σ_y 表示调光前后图像的灰度标准差, σ_{xy} 表示调光前后图像的灰度协方差, c_1, c_2, c_3 是为了防止当分母接近零时产生不稳定现象所添加的常数。

MI 从直方图的角度分析 2 个图像间的关联程度,计算公式如下:

$$MI = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L h(i, j) \times \log_2 \frac{h(i, j)}{h_{old}(i, j) + h_{new}(i, j)}, \quad (10)$$

式中: $h(i, j)$ 是原图像与新图像的归一化联合灰度直方图分布, $h_{old}(i, j)$ 和 $h_{new}(i, j)$ 分别为原图像和新图像的归一化边缘直方图分布, L 为灰度级数。

考虑到 SSIM 值、RMSE、MI 都是衡量图像调光后的失真程度,而 SSIM 比 RMSE 和 MI 更符合人眼视觉特性,故本文对 3 个指标分配不同的权重,以此评价调光后图像显示效果指数(Display Effect Index, DEI)。

$$DEI = 0.6 \times SSIM + 0.25 \times (1 - RMSE) + 0.15 \times MI. \quad (11)$$

3.2 调光效果指数

对于一个背光调光算法,显示效果和节能率同等重要,故赋予 2 个指标同样的权重。调光效果指数(Dimming Index, DI)定义为:

$$DI = 0.5 \times DEI + 0.5. \quad (12)$$

4 调光算法评估结果

选用如上的方法对现有的主要调光算法进行评估。为增加评估结果的客观性和广泛性,选取不同亮度和对比度的图像。按照平均亮度,将图像分为 3 个亮度类型(0~80、81~160、161~255)。对比度分为 2 个层次(0~300、301~1 000),组合得到高亮度高对比度(No. 1~10)、高亮度低对比度(No. 11~20)、中亮度高对比度(No. 21~30)、中亮度低对比度(No. 31~40)、低亮度高对比度(No. 41~50)、低亮度低对比度(No. 51~60)等 6 类,如图 3 所示(左上角到右下角图片编号顺序为 No. 1~60)。



图 3 评估图片
Fig. 3 Evaluation images

各调光算法对不同类别图像的调光效果指数如表 1 所示。

对于高亮度高对比度图像,IMF 和误差修正法能达到平均 15%的节能率,同时维持可接受的显示效果(DEI 为 0.93 左右)。均方根法的节能率高于 15%,但 DEI 低于 0.9,显示效果较差。CDF 阈值法和标准差法的显示效果较好,DEI 达到 0.985 以上,但节能率只有 6%左右。对于高亮低对比度图像,均方根法、IMF 和误差修正法均能在较高节能率的情况(40%以上)下维持可接受的显示效果(DEI 大于 0.93)。CDF 阈值法表现了 0.99 的 DEI,但只有 5%的节能率。对于中亮高对比度图像,误差修正法、均方根法和标准差法均能达到 30%的节能率,其 DEI 分别为 0.92、0.86 和 0.93。IMF 在达到 50%以上节能率的同时 DEI 只有 0.64,显示效果无法接受。IMF 同样不适用于中亮低对比度图像。对于低亮度图像,CDF 阈值法和误差修正法的 DEI 较高,节能率较低。IMF 则是节能率高(60%),DEI 很低(0.3),均方根法和标准差法比较适用。

表 1 各调光算法调光效果指数

Tab. 1 DI of dimming algorithms

调光算法	高亮高对比度	高亮低对比度
均方根法	0.539 686	0.549 75
标准差法	0.538 726	0.547 99
IMF 法	0.543 407	0.547 36
CDF 阈值法	0.519 450	0.528 39
误差修正	0.541 144	0.547 23
调光算法	中亮高对比度	中亮低对比度
均方根法	0.591 39	0.636 00
标准差法	0.593 38	0.648 21
IMF 法	0.609 92	0.570 57
CDF 阈值法	0.545 15	0.617 35
误差修正	0.591 21	0.623 71
调光算法	低亮高对比度	低亮低对比度
均方根法	0.689 45	0.698 82
标准差法	0.686 31	0.692 27
IMF 法	0.601 10	0.601 26
CDF 阈值法	0.615 35	0.663 60
误差修正	0.666 63	0.673 24

从上面的分析可以看出,IMF 比较适合高亮高对比度、高亮低对比度和中亮高对比度图像,均方根法和标准差法适合除了高亮图像之外的图像。CDF 法和误差修正法没有明显的不适用的图像类型,当由于硬件资源限制无法采用多种调光算法组成时,可以考虑这两种算法。

5 结 论

针对目前存在的主流调光算法,提出针对显示效果的显示效果指数,结合节能率,提出平衡显示效果和节能率的调光效果指数,以期进行全面、客观的评估。选取了 6 类不同亮度和对比度的图像对各种调光算法计算了调光效果指数,通过分析发现 IMF 不适合低亮图像,均方根法和标准差法适合除了高亮图像之外的图像。CDF 法和误差修正法对各类图像都能维持节能效果和显示效果之间的相对平衡。

参 考 文 献:

- [1] Cho H, Kwon O K. Alocal dimming algorithm for low power LCD TVs using edge-type LED backlight [J]. *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, 2010, 56(4):2054-2060.
- [2] Lin F, Liao C, Liao L, *et al.* Inverse of mapping function (IMF) method for image quality enhancement of high dynamic range LCD TVs [C]. *SID Digest*, 2007:1343-1346.
- [3] Anggorosesar A, Kim Y J. Object-based Local Dimming for LCD systems with LED BLUs [C]. *International Symposium on Low Power Electronics and Design*, 2011:315-320.
- [4] 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)
- [5] 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)
- [6] 李福文, 金伟其, 邵喜斌, 等. 基于 LED 背光源区域控制的高动态范围液晶显示技术进展[J]. 光学技术, 2009, 35(6):835-839.
Li F W, Jin W Q, Shao X B, *et al.* Process of high dynamic range liquid crystal display based on LED backlight with area control technology [J]. *Journal of Optical Technology*, 2009, 35(6):835-839. (in Chinese)
- [7] Seetzen H, Heidrich W, Stuerzlinger W, *et al.* High dynamic range display systems [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2004:760-768.
- [8] 刘艳中, 郑学仁, 陈建宾, 等. 基于图像 CDF 阈值的 LCD-TV 动态背光主亮度提取算法及硬件实现[J]. 液晶与显示, 2010, 25(3):449-453.
Liu Y Z, Zheng X R, Chen J B, *et al.* Dynamic backlight signal extraction based on threshold of image CDF for LCD-TV and its hardware implementation [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(3):449-453. (in Chinese)
- [9] Cho H, Kwon O K. A backlight dimming algorithm for low power and high image quality LCD applications [J]. *IEEE Trans Consumer Electron*, 2009, 55(2):839-844.
- [10] 孔繁铨. 结合 HVS 和相似性度量的图像质量评价测度[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(7):1184-1191.
Kong F Q. Image quality assessment metrics based on human visual system [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2011, 16(7):1184-1191. (in Chinese)
- [11] 范媛媛, 沈湘衡, 桑英军. 基于对比度敏感度的无参考图像清晰度评价[J]. 光学精密工程, 2011, 19(10):2485-2493.
Fan Y Y, Shen X H, Sang Y J. No reference image sharpness assessment based on contrast sensitivity [J]. *Journal of Optics and Precision Engineering*, 2011, 19(10):2485-2493. (in Chinese)
- [12] 杨迪威, 沈远彤, 李宏伟, 等. 一种基于视觉特性的图像质量评价指标[J]. 信号处理, 2011, 27(11):1691-1695.
Yang D W, Shen Y T, Li H W, *et al.* An image quality assessment based on property of HVS [J]. *Journal of Signal Processing*, 2011, 27(11):1691-1695. (in Chinese)
- [13] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, *et al.* Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(4):600-612.
- [14] 胡良梅, 高隽, 何柯峰, 等. 图像融合质量评价方法的研究[J]. 电子学报, 2004, 32(12):218-221.
Hu L M, Gao J, He K F, *et al.* Research on quality measures for image fusion [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2004, 32(12):218-221. (in Chinese)

作者简介: 方旭东(1978—), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事液晶显示背光源的研究。E-mail: fangxudong@boe.com.cn

冯奇斌(1970—), 女, 天津人, 博士, 副教授, 主要从事立体显示、液晶显示等方向的研究。E-mail: fengqibin@hfut.edu.cn