

文章编号:1007-2780(2014)06-1090-06

基于直方图和主灰度的调光算法

张磊^{1,2}, 李亚妮^{1,4}, 陆吕晨^{1,3}, 吕国强^{1,4,*}

(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 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009;

3. 合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 安徽 合肥 230009;

4. 合肥工业大学 光电技术研究院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 为了有效解决液晶显示中背光能耗与显示质量的矛盾, 在综合分析了灰度直方图和主灰度等图像特征与图像背光关系的基础上, 提出了一种基于这些特征的调光算法。首先统计输入图像像素灰度的平均值, 并依据平均值将图像划分为 3 种类型; 然后统计图像的灰度直方图和主灰度等特征值; 最后采用多元回归分析方法分析图像特征与背光之间的关系从而确定背光公式系数, 再依据公式计算背光调光亮度。对该算法使用 30 幅典型图像进行了仿真测试, 实验结果表明调光效果指数 DEI 为 0.95, 平均节能率为 28.22%。与其他算法相比, 本文算法具有较高的节能率和较好的显示效果, 较好地平衡了显示效果和节能率的矛盾。

关键词: 调光; 背光; 主灰度; 多元回归分析; DEI

中图分类号: TN141.9; TN312.8 **文献标识码:** A **doi:**10.3788/YJYXS20142906.1090

Backlight dimming algorithm based on histogram and dominant gray level

ZHANG Lei^{1,2}, LI Ya-ni^{1,4}, LU Lv-chen^{1,3}, LV Guo-qiang^{1,4,*}

(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 Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

3. School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China;

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

Abstract: To solve the contradiction between energy consumption and display quality in the LCD display effectively, on the basis of a comprehensive analysis of the relationship between image backlight and features such as gray histogram or dominant gray level, this paper proposes the dimming algorithm with these characteristics. First of all, a classification into three classes based on the average

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: guoqianglv@hfut.edu.cn

gray is performed for the input image. Then image characteristic values are computed such as gray histogram and dominant gray level. Finally the backlight dimming brightness is calculated according to formula, whose coefficients are determined by the multiple regression analysis to analyze the relationship between image features and backlight. For 30 typical images, the simulation result show that the dimming effect index is 0.95, the average energy saving rate is 28.22%. Compared with other dimming algorithms, this algorithm has higher power-saving rate and better display effect, moreover, it trades off the contradiction of the display effect and energy saving rate.

Key words: dimming; backlight; dominant gray level; multiple regression analysis; DEI

1 引言

目前主流的显示技术是液晶显示技术,液晶显示器主要包括背光源和液晶面板,背光源是整机耗能最大的部分。伴随着液晶显示技术的广泛应用,节能及画质提升成为液晶显示技术改进的主要方向。而调光技术是集节能与画质提升于一身的最佳技术之一。

调光算法主要包括两个部分:背光调光和图像补偿。背光调光是依据输入的图像确定背光等级并调节背光输出,通过降低背光输出来实现节能。图像补偿是为了补偿由于背光降低导致的图像失真而对输入图像进行的补偿处理,通过增大像素的灰度等级来补偿背光下降引起的图像失真。经过近年来的研究和发展,已经提出了许多应用于 LED(Light-emitting Diode, LED)液晶显示器背光调光算法,包括最大值法^[1]、平均值法^[2]、映射曲线反转法^[3-4]和 CDF(Cumulative Distribution Function, CDF)阈值法^[5-6]等。最大值法节能率最低但是图像失真最小;平均值法节能率最高但是图像失真过大。映射曲线反转法依赖图像的灰度分布和对应参数选取,对于灰度分布不均匀的图像难以取得较好效果。CDF 阈值法节能率较高同时图像失真较小,但是对偏暗图像失真较严重。

本文提出了一种调光算法,基于输入图像灰度直方图 and 主灰度来确定背光,可以较好地平衡图像处理引入失真与节能率的矛盾,实现了节能率较高且图像处理 after 失真较少的目标。

2 提出的调光算法

本文算法是依据输入图像的特征来选取背

光。算法分为 3 个步骤:(1)将输入图像按图像像素灰度的平均值分为 3 种类型;(2)统计图像的灰度直方图 and 主灰度等特征值用于背光确定;(3)使用多元回归分析方法确定背光公式系数,再依据公式计算背光调光亮度。

2.1 图像分类

为了进一步提高节能率,改善处理后图像画质,将图像依据平均灰度 mean,按公式(1)映射为低亮度、中等亮度和高亮度 3 种类型。为了降低图像补偿中出现的溢出,本文灰度定义如公式(2)所示,取一个像素的红色像素亮度值 R,绿色像素亮度值 G 和蓝色像素亮度值 B 中最大值作为灰度 gray。

$$\text{pic_class} \begin{cases} \text{low} & 0 \leq \text{mean} \leq 120 \\ \text{medium} & 120 < \text{mean} \leq 200. \\ \text{high} & 200 < \text{mean} \leq 255 \end{cases} \quad (1)$$
$$\text{gray} = \max(R, G, B). \quad (2)$$

式中:当 mean 在[0, 120]之间时,图像属于低亮度图像。当 mean 在[120, 200]之间时,图像属于中亮度图像。当 mean 在[200, 255]之间时,图像属于高亮度图像。平均灰度 mean 范围通过仿真实验来确定。

2.2 统计计算图像特征值

算法使用到的图像特征值包括:灰度值 L_{H70} , 该参数是依据灰度直方图计算出的灰度值,表示输入图像中 70%的像素灰度值都小于等于该值。该参数反映图像的基本背光需求;输入图像最大值和平均值的差值 L_{diff} ,该参数反映了背光可以调节的范围,因此该参数是确定背光的重要指标;灰度直方图中占比最大的灰度 H_{color1} 和灰度直方图中占比次大的灰度 H_{color2} ,这两个参数反映了图像的主要灰度变化趋势,是图形中比较关键的信息,可以对背光进行有效地修正。图 1 是某幅图像的灰度直方图,将图中从灰度 0 到灰度 100 每级灰度对应的像素个数累加和记为 $H70$ 。

H_{70} 大于整幅图像总像素个数的 70%。因此 L_{H70} 为 100。而 H_{color1} 是图 1 中最高纵向条纹对应的灰度,即占比最大的灰度。 H_{color2} 是图 1 中次高纵向条纹对应的灰度,即占比次大的灰度。

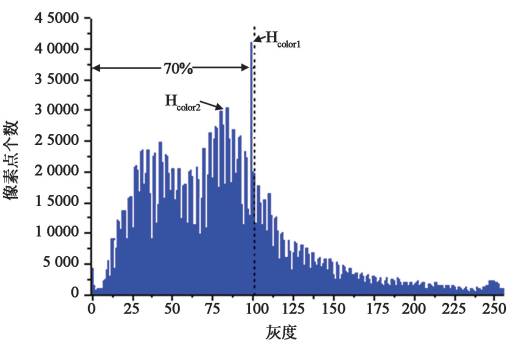


图 1 图像特征值说明图

Fig. 1 Illustration of image characteristic values

2.3 背光计算

背光公式的系数确定过程分为 3 步:(1)选取 100 幅测试图像,通过仿真调整每幅图像的背光,

确定一个适合该图像的最优背光范围(比如[175, 195]),然后取该范围的平均值为最优背光值 BLS;(2)统计 100 幅图像的特征,包括 L_{H70} 、 L_{diff} 、 H_{color1} 和 H_{color2} ;(3)采用多元线性回归分析方法^[7],使用最小二乘法拟合数据,求取公式(3)中参数 b_0 、 b_1 、 b_2 和 b_3 :

$$\begin{bmatrix} BLS_1 \\ BLS_2 \\ \vdots \\ BLS_{99} \\ BLS_{100} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{H70}^1 & L_{diff}^1 & H_{color1}^1 & H_{color2}^1 \\ L_{H70}^2 & L_{diff}^2 & H_{color1}^2 & H_{color2}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{H70}^{99} & L_{diff}^{99} & H_{color1}^{99} & H_{color2}^{99} \\ L_{H70}^{100} & L_{diff}^{100} & H_{color1}^{100} & H_{color2}^{100} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

考虑到图像依据平均灰度 mean 划分为低亮度、中亮度、高亮度 3 种类型,所以对每种类型的图像分别求取拟合参数。此外由于高亮度图像中 H_{color1} 和 H_{color2} 参数对背光选择影响较小,因此高亮图像的背光公式中不包含这两个参数。最终的背光公式如公式(4)所示:

$$\begin{cases} BL = 0.574\ 89L_{H70} + 0.687\ 88L_{diff} - 0.048\ 894H_{color1} + 0.124\ 02H_{color2} & 0 \leq \text{mean} \leq 120 \\ BL = 0.7444\ 3L_{H70} + 0.555\ 16L_{diff} - 0.070\ 174H_{color1} + 0.092\ 488H_{color2} & 120 < \text{mean} \leq 200 \\ BL = 0.7444\ 3L_{H70} + 0.555\ 16L_{diff} & 200 < \text{mean} \leq 255 \\ diff = \max - \text{mean} \end{cases} \quad (4)$$

3 调光算法评价

本文选取 30 幅典型图像进行仿真测试。其中 10 幅图像来自柯达图库(Kodak True Color Image Suite)^[8],其余的图像则是补充的低亮度和高亮度图像,如图 2 所示,其中第二行的图像均取自柯达图库。所有图像都使用线性插值法放大为 $1\ 920 \times 1\ 080$ 全高清图像。算法仿真中对图像像素的补偿均采用文献[9-10]中提及的像素补偿方法来实现。

对本文算法的评价包括两个方面:一方面使用主客观评估方法对图像处理效果进行评价,另一方面节能率。在保证图像显示效果的前提下节能率越高越好。主观评价通过组织多人多次对处理前后图像进行观察来评价图像处理效果。客观评价通过常用的评价指标对图像效果进行评价。本文采用调光效果指数 DEI(Dimming

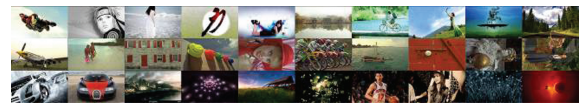


图 2 测试图像

Fig. 2 Tested images

Effect Index, DEI)对图像处理效果进行客观评估,该指数是对常用图像评价指标的一种综合,可以较客观的反映图像处理前后的变化情况。DEI 的范围是[0,1],取值越大图像的处理效果越好。

调光效果指数是用来衡量调光后图像效果的一种指标。DEI 由 MSSIM(Mean Structural Similarity, MSSIM)值^[11]、RMSE(Root Mean Squared Error, RMSE)值和 MI(Mutual Information, MI)^[12]值等衡量图像失真程度的指标构成。其中 MSSIM 是对 SSIM(Structural Similarity, SSIM)评价算法^[13-14]的改进。RMSE 值是 MSE(Mean Squared Error, MSE)的根值^[15]。MI 值

是基于信息熵理论评测图像相似性的一种指标,MI 值在[0,1]之间,越接近 1 表明调光后的图像越接近原图像。对这 3 个指标进行归一化处理后,综合起来构成一个与主观评价结果更加接近的指标,即 DEI,其定义如公式(5)所示:

$$DEI = 0.6MSSIM + 0.25(1 - RMSE) + 0.15MI.$$

(5)

节能率 S 计算如公式(6)所示。BL 是背光公式计算出的背光值,范围是[0,255]。

$$S = \left(1 - \frac{BL}{255}\right) \times 100\%.$$

(6)

使用 DEI 指数对 30 幅图像处理效果进行评价,如表 1 所示。从表 1 数据可知,30 幅图像中,DEI 指数基本大于 0.91,满足画质要求。DEI 低于 0.91 有 5 幅图像,分别为第 3、4、7、17 和 18 号图。第 3、4 和 7 号图是整体亮度偏高,高亮区域较多。通过公式确定的背光较低,引起高亮区域产生溢出失真。第 17 号和 18 号图是整体颜色比较单一的图像。通过公式确定的背光过低,从而使处理后图像偏暗,导致失真。总之,DEI 指数的平均达到 0.95,基本能够满足图像处理前后的保真度要求。

表 1 DEI 评估结果

Tab. 1 DEI test result

Image No.	DEI	Image No.	DEI	Image No.	DEI
1	0.999 9	11	0.982 7	21	0.983 9
2	0.968 4	12	0.918 8	22	0.969 8
3	0.878 5	13	0.993 6	23	0.961 1
4	0.856 9	14	0.931 2	24	0.952 9
5	0.999 9	15	0.956 1	25	0.974 6
6	0.964 3	16	0.968 3	26	0.951 3
7	0.904 2	17	0.839 9	27	0.948 1
8	0.982 7	18	0.896 2	28	0.986 9
9	0.968 6	19	0.987 0	29	0.992 1
10	0.948 3	20	0.963 9	30	0.912 1

表 2 反映了使用本文算法处理图像后的节能率情况。表 2 中最高节能率达到 50.33%,最低节能率为 7.26%,平均节能率为 28.22%。图 3 中第 3 行图像的节能率较好。这是因为这一行图

像中整体偏暗,使用算法确定背光较低,所以节能率较高。总体而言,使用本文算法可以取得较好的节能率。

表 2 节能率评估结果

Tab. 2 Power-saving test results

Image No.	S/%	Image No.	S/%	Image No.	S/%
1	7.28	11	15.53	21	25.06
2	21.62	12	38.17	22	34.84
3	24.08	13	32.01	23	37.52
4	30.80	14	15.49	24	36.60
5	7.26	15	27.98	25	36.69
6	8.08	16	25.93	26	24.09
7	27.79	17	29.67	27	50.33
8	14.33	18	33.44	28	29.62
9	25.41	19	37.78	29	33.84
10	7.28	20	31.63	30	34.88

将本文算法与常见的最大值法、平均值法、IMF 法和 CDF 阈值法等算法进行对比测试。使用不同的算法对 30 幅图像进行仿真并计算平均 DEI 指数和平均节能率,结果如表 3 所示。从表中可知 IMF 法和平均值法的节能率均在 50%以上,但是 DEI 指数较低说明这两种算法虽然节能效果很好但会导致处理后图像存在较大失真。而最大值法的 DEI 指数为 1 而节能率几乎没有,则说明其图像处理前后没有失真,但节能效果却乏善可陈。CDF 阈值法和本文算法均属于 DEI 指数和节能率比较平衡的方法,相对而言虽然本文算法的 DEI 指数略低于 CDF 阈值法,但是本文算法在节能率上有接近 10%的提升。

表 3 对比测试结果

Tab. 3 Comparison results of several dimming algorithms

调光方法	平均 DEI	平均节能率/%
最大值法	1.00	0.39
平均值法	0.60	54.81
CDF 阈值法	0.97	19.20
IMF 法	0.60	56.54
本文算法	0.95	28.22

4 结 论

提出了一种基于灰度直方图和主灰度的调光算法。算法分为 3 个步骤:(1)将输入图像按图像的平均值分为 3 类;(2)统计图像的灰度直方图和主灰度等特征值用于背光确定;(3)使用多元回归

分析方法确定背光公式系数,再依据公式计算背光调光亮度。对该算法使用 DEI 指数和节能率指标进行客观评估。仿真实验的结果表明调光效果指数 DEI 为 0.95,平均节能率为 28.22%。通过与常见算法的对比测试表明,本文算法具有较高的节能率和较高的显示效果,较好地平衡了显示效果和节能率的矛盾。

参 考 文 献:

- [1] 杨雷,李纯怀,陈宥桦,等.基于平均值法的 LED 背光源动态调光二次修正算法[J].液晶与显示,2014,29(1):101-105.
Yang L, Li C H, Chen Y Y, et al. Dynamic dimming algorithm with twice-correction of LED backlit based on average [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(1):101-105. (in Chinese)
- [2] Seetzen H, Heidrich W, Stuerzlinger W, et al. High dynamic range display systems [C]. *ACM Transaction on Graphics*, 2004, 23(4):760-768.
- [3] Lin F, Liao C, Liao L, et al. Inverse of Mapping Function (IMF) method for image quality enhancement of high dynamic range LCD TVs [J]. *Digest of Technical Papers-SID international Symposium*, 2007, 38(2):1343-1346.
- [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] 刘艳中,郑学仁,陈建宾.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. Dynamic backlight signal extraction algorithm 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)
- [6] 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)
- [7] 高惠璇编著.应用多元统计分析[M].北京:北京大学出版社,2005.
Gao H X. *Applied Multivariate Statistical Analysis* [M]. Beijing:Beijing University Press, 2005. (in Chinese)
- [8] Franzen R. Kodak true color image suite [DB/OL]. [2013-02-27]. <http://r0k.us/graphics/kodak/>.
- [9] Kerofsky L, Daly S. Brightness preservation for LCD backlight dimming [J]. *Sharp Technical Journal*, 2007(95):50-57.
- [10] Jin Y, Kim J, Lee H J. Reduction of quantization errors caused by dynamic LCD backlight scaling [J]. *IEICE Electron Express*, 2009, 6(9):535-539.
- [11] 叶盛楠,苏开娜,肖创柏,等.基于结构信息提取的图像质量评价[J].电子学报,2008,36(5):856-861.
Ye S N, Su K T, Xiao C B, et al. Image quality assessment based on structural information extraction [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2008, 36(5):856-861. (in Chinese)
- [12] 胡良梅,高隽,何柯峰.图像融合质量评价方法的研究[J].电子学报,2004,32(12A):218-221.
Hu L M, Gao J H, Ke F. Research on quality measures for image fusion [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2004, 32(12A):218-221. (in Chinese)
- [13] Wang Z, Bovik A C. A universal image quality index [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2002, 9(3):81-84.
- [14] 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.
- [15] 姚军财.基于人眼对比度敏感视觉特性的图像质量评价方法[J].液晶与显示,2011,26(3):390-396.

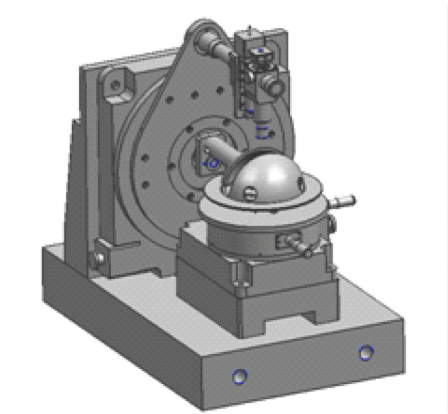
Yao J C. Image quality assessment method based on contrast sensitivity characteristics of human vision system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(3):390-396. (in Chinese)

作者简介:张磊(1980—),男,安徽合肥人,博士研究生,主要从事液晶显示动态调光算法研究。E-mail:zhanglei8092@foxmail.com
吕国强(1962—),男,浙江新昌人,教授,博士生导师,主要研究工作是立体显示、液晶显示等方面的研究。
E-mail:guoqianglv@hfut.edu.cn

北方液晶工程研究开发中心

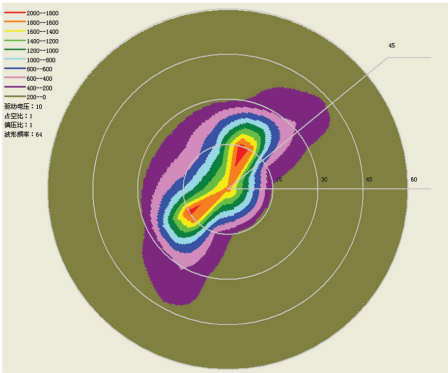
北方液晶工程研究开发中心成立于 1995 年,是以中科院长春光机与物理研究所液晶研究工作为技术基础,从事专用测试仪器开发、显示器件制造的有限责任公司。中心成立至今,本着“不断进取,追求卓越”的企业精神,不断探索和开发,在显示器件工艺技术,测试技术等方面取得多方面成绩,曾获中科院和吉林省科技进步一等奖,获准和公开专利 20 余项,发表论文近 200 篇。研究技术人员中:研究员 2 人,副研究员 4 人,具有博士学位的有 4 名,博士生导师 2 名,长春分院跨世纪青年科学家 2 人,形成了一个年轻化的技术梯队合理的科研和生产队伍。

中心现拥有自主知识产权的产品有:LCT-5016 系列液晶器件参数综合测试仪、LCT-V2000 系列液晶器件参数综合测试仪、FCT-1030 型膜盒厚测试仪、CFT-02 型显微色度测试仪、PAT-20 型液晶分子预倾角测试仪、及液晶显示器件、模块,同时也在开发 OLED 相关的测试技术与测试设备。

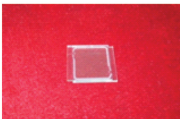


LCT-V2000 系列液晶器件参数综合测试仪

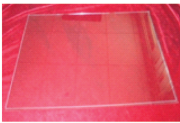
测试项目	测试范围
阈值电压 (v)	0-30V 0-60V
饱和电压 (v)	0-30V 0-60V
对比度	1-20000
视角 (Deg.)	0-60
极方位角	0-360
透过率	0%-100%
反射率	4%-100%
色度坐标	0.050-0.700 0.010-0.750
x	
y	
响应时间	0.1-10(ms) 10-100(ms) 100-1000(ms) 1000-10000(ms)



视角测试曲线



液晶测试样品盒
外形尺寸: 22 mm × 20 mm
显示尺寸: 17 mm × 15 mm



3D 光阀
外形尺寸: 14 in
产品型号: NLC-AE001

地址:吉林省长春市经济技术开发区仙台大街 1468 号
邮编:130033
电话:0431-86179910(荆海)
邮箱:jinghai1970@163.com