

基于图像分类的全局动态调光算法

何会杰^{1,2} 冯奇斌^{1,3} 张磊^{1,4} 张喜条^{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 针对液晶显示能效不高、对比度低的问题,提出了一种基于图像分类的全局动态调光算法。鉴于亮度 and 对比度是液晶显示的两个重要性能指标,提出了基于亮度和对比度的图像分类方法。背光调光水平由输入图像的类别、灰度平均值以及灰度最大值与灰度平均值的差值决定。液晶像素补偿基于 S 曲线,曲线方程中的参数根据输入图像特征值和图像类别决定。对 60 幅图像的仿真结果表明:平均背光节能达到了 19%,静态对比度提高了 143%。开发了采用本调光算法的液晶电视,与没有采用本调光算法的电视相比,整机平均节能达到了 12.9%,静态对比度提高了 43.18%。

关键词 图像处理;液晶显示;图像分类;全局调光;对比度;能耗

中图分类号 TN141.9; TN312.8 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201333.0823002

Global Dimming Algorithm Based on Image Classification

He Huijie^{1,2} Feng Qibin^{1,3} Zhang Lei^{1,4} Zhang Xitiao^{1,2} Lü Guoqiang^{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, Anhui 230009, China

² School of Instrument Science and Opto-Electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China

³ Academy of Photoelectric Technology, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China

⁴ School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China

Abstract To tackle the problems of low power efficiency and low contrast of liquid crystal display, a global dimming algorithm based on image classification is proposed. As brightness and contrast are two important display parameters, the paper takes use of these two parameters to classify the input images. Backlight dimming level is determined by image category, the average luminance and the difference between the average and maximum grayscales of all subpixels. The S-shaped curve is generated based on the characteristic value and the image category of input image to compensate liquid crystal pixels. For 60 images, the simulation results show that the average backlight power consumption is reduced by 19% and the static contrast ratio is improved by 143%. The prototype is developed based on the dimming algorithm. Compared with the LCD TV without applying the dimming algorithm, the practical results show that the average power consumption is reduced by 12.9% and the static contrast ratio is improved by 43.18%.

Key words image processing; liquid crystal display; image classification; global dimming; contrast ratio; power consumption

OCIS codes 230.3720; 230.3670; 110.2960

收稿日期: 2013-03-08; 收到修改稿日期: 2013-03-26

基金项目: 国家 863 计划(2012AA011901)、安徽省 2012 科技计划(1206c0805007)。

作者简介: 何会杰(1987—),男,硕士研究生,主要从事 LED 背光动态调光算法、图像处理等方面的研究。

E-mail: hehuijie@yahoo.cn

导师简介: 冯奇斌(1970—),女,博士,副教授,硕士生导师,主要从事立体显示、LED 背光等方面的研究。

E-mail: fengqibin@hfut.edu.cn(通信联系人)

1 引 言

近年来,平板显示技术得到了突飞猛进的发展,特别是液晶显示(LCD)更是在众多领域迅速取代了传统阴极射线管显示技术。但是,LCD不像等离子显示和有机发光二极管显示,它作为非自主发光显示器件,需要背光模块作为光源,并且在传统工作模式下,背光亮度是恒定的,即使显示全黑图像,背光也是全开的,造成能源浪费。由于液晶(LC)的漏光现象,导致液晶显示的对亮度不高。动态调光技术根据图像内容动态调节背光亮度同时对液晶像素进行补偿,能够有效降低能耗并提高对比度^[1-5]。

目前调光技术主要分为区域调光技术和全局调光技术。区域调光将背光分为若干个独立控制的区域,每个区域的背光亮度根据相应区域的图像而变化。全局调光则是整体调节背光亮度。区域调光算法主要包括最大值法^[6]、改进的最大值法^[7]、平均值法^[6]、均方根值法^[8]和映射曲线反转法^[9]等。和全局调光相比,区域调光的节能效果更好,但存在几个问题:1)由于LED较大的发光角度及背光中扩散膜的存在,各区域之间存在光线串扰,必须在算法中加以克服,加大了算法的复杂度;2)区域调光要求将背光分为多个独立控制的区域,无法无缝集成到现有产品;3)控制通道多,成本高,控制复杂。

现有的全局调光算法^[10-14]中,背光调节灰度(BDG)^[10]将统计方法和全局调光相结合,以包含75%像素的对应灰度作为全局背光亮度,无法有效提高静态对比度。在文献[11]中,通过设定像素剪切比例来确定全局背光亮度,存在一定的缺陷:对所有图像设定相同的像素剪切比例会造成一部分调光后的图像的显示质量显著下降或者节能效果不明

显。在文献[12]中,尽管采用图像典型特征值动态选择像素剪切比例,并用峰值信噪比客观评判图像处理效果,但对于一些图像,灰度级误差仍然难以克服。之前提出的全局调光算法采用S曲线补偿液晶像素^[13-14],虽然可以增加静态对比度,但由于对所有图像均采用固定的计算参数,造成一些含有较多纹理细节的图像出现显示失真(细节消失)。由于显示内容的多样性,即使非常优秀的动态调光算法也很难适用于所有图像,故本文提出一种基于图像分类的全局动态调光算法,对于不同的图像类别自适应地选取不同的计算参数,以期对于所有图像都能达到较好的节能效果和显示效果。

2 基于亮度和对比度的图像分类

基于图像分类的全局调光算法如图1所示,其中PWM为脉宽调制,TCON为时间控制。动态调光为了满足视频播放的实时性要求(60 Hz),必须在1/60 s内完成包括数据统计、计算特征值、图像分类、计算背光亮度、生成S曲线、像素补偿等所有步骤,要求图像分类的方法不能过于复杂。对于液晶显示,亮度和对比度是评定显示效果的2个重要指标。本文参考亮度和对比度的定义及实际测试方法,提出一种基于图像平均灰度值和对比度的分类方法。采用一幅图像中所有像素的灰度平均值表示平均亮度:

$$G_{\text{avg-total}} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N L_{i,j}}{M \times N}, \quad (1)$$

式中 $G_{\text{avg-total}}$ 是图像平均灰度值, $L_{i,j}$ 是像素 (i,j) 的灰度值, $M \times N$ 是图像分辨率。

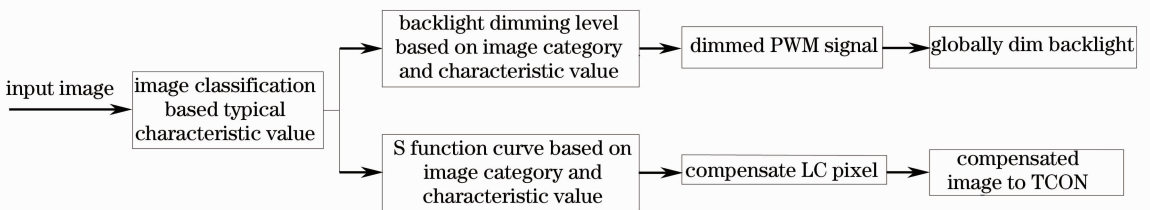


图1 基于图像分类的全局调光算法方框图

Fig. 1 Global dimming algorithm based on image classification

静态对比度指的是一幅图像中最高亮度与最低亮度的比值。实际测量时,通过色度亮度计测量图像的最高亮度和最低亮度,得到对比度^[15]。色度亮度计测量的是一定面积内的平均亮度。根据对比度定义和实际测量方法,提出了一种针对显示图像的对比度计算方法。以分辨率为768 pixel×1024 pixel的图

像为例,将灰度化后的图像虚拟划分为每块48 pixel×64 pixel大小,统计每块的灰度平均值,取所有块中的最大值和最小值的比值作为该幅图像的对比度。考虑到:1)最小值为0时无法处理;2)市场上液晶电视的亮度多分布在0.3~300 cd/m²之间,故采用最小二乘法将计算得到的每个区域的亮度进

行变换，

$$\begin{cases} G_{\text{block}} = 0.4625 \times L_{\text{block}} + 0.3 & (0 \leq L_{\text{block}} < 8) \\ G_{\text{block}} = 1.1984 \times L_{\text{block}} - 5.592 & (8 \leq L_{\text{block}} \leq 255) \end{cases}, \quad (2)$$

式中 L_{block} 为变换前的每块灰度平均值, G_{block} 为变换后的灰度平均值。对比度 C 定义为变换后的最大值与最小值的比值:

$$C = \frac{\max(G_{\text{block}})}{\min(G_{\text{block}})}, \quad (3)$$

由此得到的对比度分布在(1,1000)之间,基本符合液晶电视实际对比度的分布。

具体分类的多少可根据实际情况确定,类别越多,节能和显示效果越好,对硬件资源的要求也越高。根据项目的实际情况,将亮度分3个层次,对比度分2个层次,即把图像分为高亮度高对比度、高亮度低对比度、中亮度高对比度、中亮度低对比度、低亮度高对比度和低亮度低对比度等6类。

3 全局调光算法

3.1 背光亮度的确定

为了更好地体现输入图像的典型特征,使背光亮度随输入图像动态变化,将文献[2]的背光亮度计算方法和图像类型相结合,根据图像类别确定背光亮度:

$$\begin{cases} K_{\text{BLU}} = \left[p_{\text{avg}} + k \times \left(p_{\text{diff}} + \frac{p_{\text{diff}}^2}{255} \right) \right] / 255 \\ p_{\text{diff}} = p_{\text{max}} - p_{\text{avg}} \\ k = 0.5, \quad \text{high luminance} \\ k = 0.4, \quad \text{medium luminance} \\ k = 0.3, \quad \text{low luminance} \end{cases}, \quad (4)$$

式中 p_{avg} 是所有像素的平均灰度, p_{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),以保证显示亮度;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。

3.2 液晶像素的调节

由于背光亮度确定后,整体背光亮度变低,因此需要对液晶像素进行亮度补偿,以保持显示亮度不变。现有的像素补偿方法多为线性,即采用下式进行补偿:

$$I \times L_{\text{B}} = I' \times L'_{\text{B}}, \quad (5)$$

式中 L_{B} 和 L'_{B} 分别为调光前后的背光亮度值, I 和 I' 分别为调光前后液晶像素值。由(5)式可以看出,当调光后的背光亮度值较小时,对液晶像素进行补偿时可能导致其值超过255而产生溢出失真。

图2(a)是原图像,图2(b)为采用所有像素平均灰度的均方根值为背光亮度后的图像,可以看出,由于调光后的背光亮度较小,造成白云部分的像素溢出而出现比较明显的显示失真。

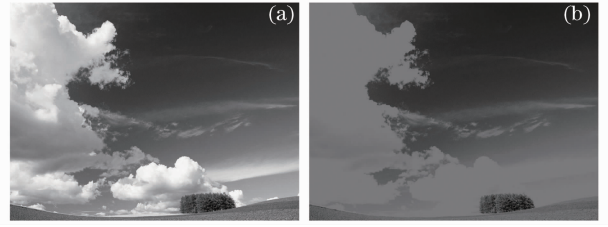


图2 采用均方根值法调光前后图像。(a)原图像;
(b)调光后图像

Fig. 2 Image before and after root-mean-square dimming.

(a) Original image; (b) image after dimming

为了避免溢出失真并提高静态对比度,采用一种S曲线方法对液晶像素进行调节。S曲线方程为

$$y = \frac{255}{1 + A \times \exp(-a \times x)}, \quad (6)$$

S曲线方程包括 A 和 a 两个参数,二者的关系为

$$A = \exp(a \times L_{\text{point}}), \quad (7)$$

式中 L_{point} 为S曲线拐点坐标。图3为液晶像素补偿所用的S曲线,可以看出:像素值小于 L_{point} 的像素调节因子小于1,变得更暗,像素值大于 L_{point} 的像素调节因子大于1,变得更亮,以此有效提高静态对比度。

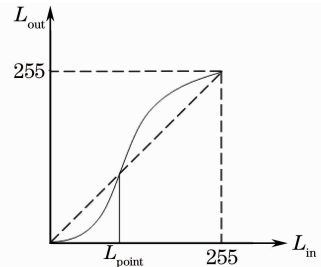


图3 S曲线及其关键点

Fig. 3 S curve and its key point

L_{point} 决定着像素调节的范围,根据下式确定:

$$L_{\text{point}} = \frac{L_{25} + L_{50}}{3}, \quad (8)$$

式中 L_{25} 是包括所有像素25%的对应灰度值; L_{50} 是包括所有像素50%的对应灰度值。

S曲线方程中的另一个参数 a 决定了曲线的曲率,图4表明其他条件一定时 a 值和S曲线形状的关系,可以看出,随着 a 值的增大,S曲线变得越来越弯曲。

根据图像的平均灰度值和对对比度等典型特征值来确定图像的最优 a 值。根据背光亮度公式(4)式可知,随着平均灰度值由高到低,背光亮度值也有由

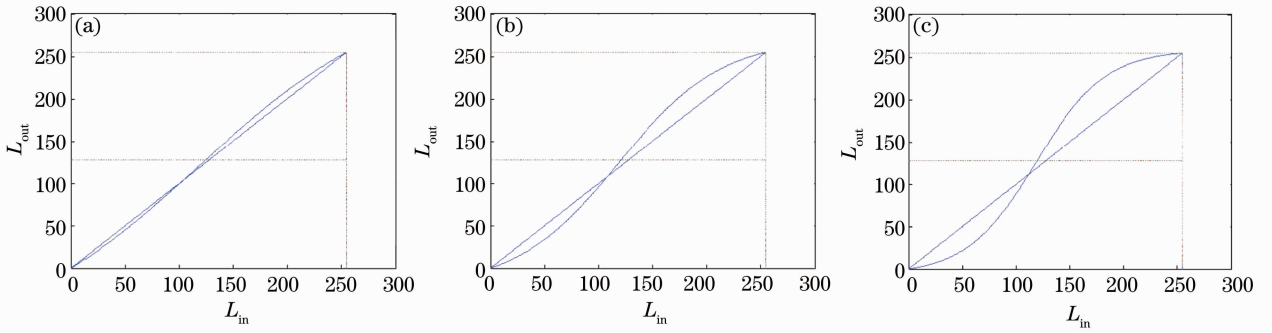


图 4 a 和 S 曲线形状的关系。(a) $a=0.011$; (b) $a=0.021$; (c) $a=0.031$

Fig. 4 Relationship of a and S curve shape. (a) $a=0.011$; (b) $a=0.021$; (c) $a=0.031$

高到低的趋势,因此为了弥补降低背光亮度值带来的处理后图像变暗现象,由图 4 可知, a 值应随着图像平均灰度值由高到低而由低到高变化。在同等平均灰度值条件下,对对比度较低的图像适当提高 a 值以提高处理后图像的对比度。 a 的取值为

$$\begin{cases} a = 0.018 & \text{high luminance \& high contrast} \\ a = 0.021 & \text{high luminance \& low contrast} \\ a = 0.020 & \text{medium luminance \& high contrast} \\ a = 0.023 & \text{medium luminance \& low contrast} \\ a = 0.022 & \text{low luminance \& high contrast} \\ a = 0.025 & \text{low luminance \& low contrast} \end{cases} \quad (9)$$

获得 S 曲线后,就可以得到各个像素的调节因子

$$k_{LCD} = \frac{L_{out}}{L_{in}}, \quad (10)$$

式中 L_{in} 为像素原始值, L_{out} 为经 S 曲线调节后的像素值。对红、绿、蓝子像素采取相同的调节因子:

$$(R', G', B')_{i,j} = (k_{LCD})_{i,j} \times (R, G, B)_{i,j}, \quad (11)$$

(R, G, B) 为原像素亮度值, (R', G', B') 为调节后像素亮度值。本调光算法不会改变色调和饱和度,保证了彩色图像的显示色彩不会出现失真:

$$H' = 60^\circ \times \frac{G' - B'}{R' - B'} = \frac{60^\circ \times (k_{LCD} \times G - k_{LCD} \times B)}{(k_{LCD} \times R - k_{LCD} \times B)} = H, \quad (12)$$

$$S' = 1 - \frac{\min(R', G', B')}{\max(R', G', B')} = 1 - \frac{k_{LCD} \times \min(R, G, B)}{k_{LCD} \times \max(R, G, B)} = S. \quad (13)$$

4 软件仿真

选取 60 幅图像进行了仿真实验,如图 5 所示,自左上至右下依次为 No. 1~60,对应 6 类图像,即

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~



图 5 仿真图像

Fig. 5 Simulation images

50)、低亮度低对比度(No. 51~60)。

$$R_B = (1 - K_{BLU}) \times 100\%, \quad (15)$$

仿真时用对比度提高比例 E_{CR} 和背光节能的比例 R_B 评估调光算法：

$$E_{CR}(\%) = \frac{C' - C}{C} \times 100\%, \quad (14)$$

式中 C' 为调光后图像对比度, C 为原图像对比度。对比度和背光节能仿真结果分别如图 6 和图 7 所示。

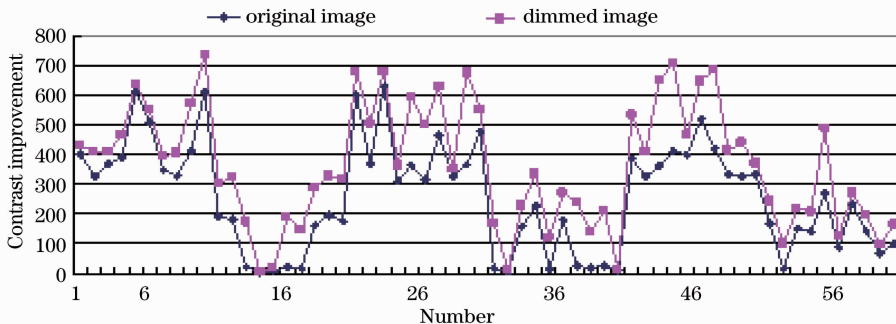


图 6 对比度仿真结果

Fig. 6 Contrast simulation results

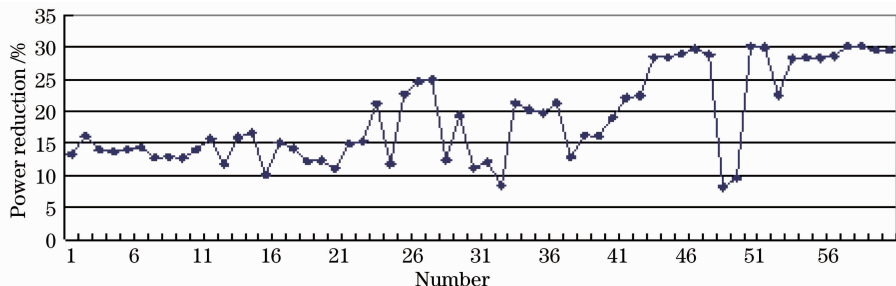


图 7 背光节能仿真结果

Fig. 7 Simulation result of backlight power saving

从图 6 可知,60 幅调光后的图像对比度相对原图像都有一定的提升,对比度平均提高了 143%。从图 7 可知,调光后,60 幅图像的能耗均有所下降,平均能耗下降了 19%。图 6 和图 7 表明:随着图像整体亮度由高到低,背光节能率呈由低到高的趋势;在同一亮度范围内,低对比度的图像经处理后对比度提高比例较大,高对比度图像对比度提高比例较小。

机,对角线尺寸为 32 inch(1 inch=0.0254 m)(16:9,720p),如图 8 所示,图 8(a)和图 8(b)中左边的一台电视采用传统的背光亮度恒定的工作模式,右边的一台采用本全局调光算法。两台液晶电视均接有功率计,可以显示实时功耗。播放图 5 的测试图像及多段不同内容的视频,组织多名没有参与调光项目的学生对比观看调光和不调光的电视,均未发现采用调光算法的电视出现人眼感知的显示失真,对于有些图像,还能明显感觉由于对比度提高而变得

5 实际测量结果与讨论

课题组开发了采用本调光算法的液晶电视样

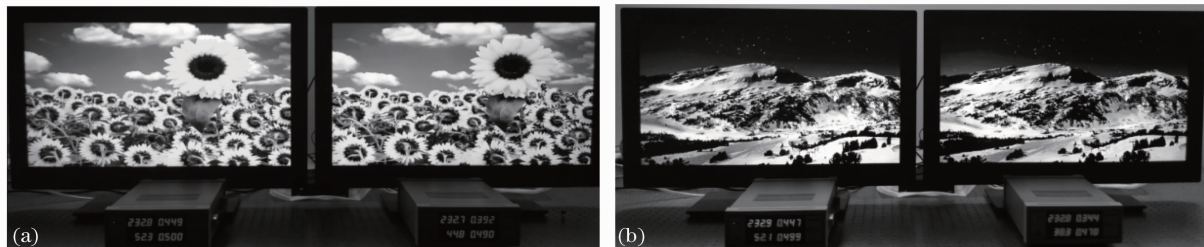


图 8 调光样机。(a) 测试图像 1; (b) 测试图像 2

Fig. 8 Prototype. (a) Test picture 1; (b) test picture 2

清晰。

对于图 8(a)的图像,采用本算法的液晶电视的能耗比采用传统背光模式的液晶电视能耗降低了 $(52.3 - 44.8) / 52.3 = 14.3\%$,图 8(b)降低了 $(52.1 - 38.3) / 52.1 = 26.5\%$ 。可以看出,该算法的节能效果依赖于图像内容。

对图 5 中的 60 幅图像进行实际测试,记录每幅图像的实际功耗,与不调光图像的功耗进行比较,得出实

际测试的功耗下降比例,结果如图 9 所示,功耗降低比例(R_p)根据(16)式确定,其中 P 为未采用算法的整机能耗, P' 为采用算法的整机能耗。需要指出的是,实际测试的是整机功耗,仿真的功耗是背光模块的,一般来说,背光模块的功耗占整机功耗的 $60\% \sim 75\%$ 之间,故实测数据(图 9)低于仿真数据(图 7)。

$$R_p = \frac{P - P'}{P} \times 100\%, \quad (16)$$

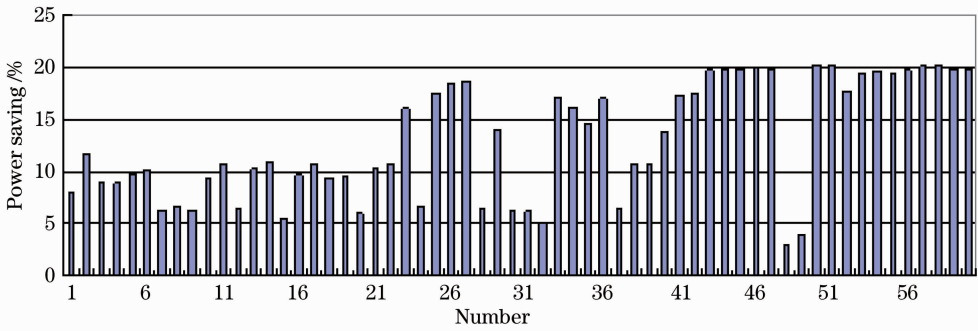


图 9 实测节能结果

Fig. 9 Result of energy consumption reduction

从图 9 可以看出,60 幅图像实际平均整机节能为 12.9% 。分析图 5 中图像, No. 1~20 的图像整体亮度较高,整机节能效果在 8.76% 左右; No. 21~40 的图像整体亮度稍微低些,整机节能效果在 12.14% 左右; No. 41~60 的图像整体亮度较低,整机节能效果在 17.87% 左右。根据背光调整公式和 a 的取值可以看出,对于 No. 1~20 等整体亮度较高的图片,背光值下调较小,同时 a 值设定得较小, S 曲线曲率较小,较好地保存了图像质量。对于 No. 41~60 等整体亮度较低的图片,背光值下调较大,同时 a 值设定得较大, S 曲线曲率较大,较好地补偿了由于背光值下调较大而造成的图像变暗现象。按照图像分类来决定背光亮度和像素调节因子,使得每类图像的亮度、对比度、节能均能达到较好的水平,在三者间找到了平衡点。

计配合液晶系统五维测量台对采用和未采用全局调光算法的液晶电视进行测试(图 10)。测量左上到右下均匀分布的 25 个点的亮度,25 点中最大值除以最小值作为对比度。对图 5 的 60 幅图像进行了测试,对比度提高比例如图 11 所示,60 幅图像的实际平均对比度提高了 43.18% 。



图 10 测试系统

Fig. 10 Measurement system

采用日本 Topcon 公司的 SR-UL1R 色度亮度

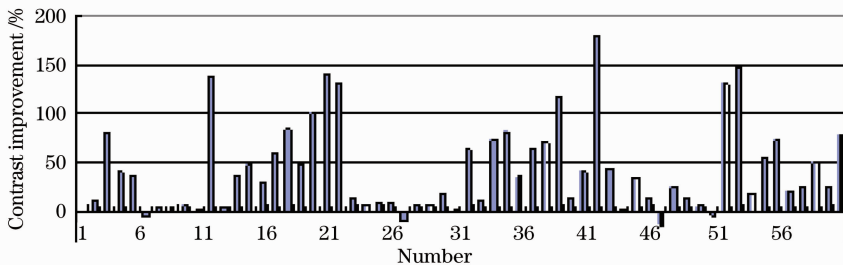


图 11 实测对比度提高比

Fig. 11 Contrast improvement of measured result

对比图 11 的实际测试结果与图 6 的仿真结果,发现数据相差较大,其原因主要在于对比度的计算方法不同。仿真计算时,将图像进行固定分区,选取每块的最大值和最小值计算对比度,而实际测量的是 25 点的亮度,25 个测量点与仿真的分区必然不同,导致实际测量的 25 点中的最大/最小值与仿真时各分区的最大/最小值不同,造成仿真和测试结果的较大偏差。尽管实际测试中 25 个测量点位置不可能正好包括图像的最大亮度和最小亮度,但测试结果仍表明对于各类图像,采取本调光方法后对比度均有不同程度的提高。

6 结 论

针对液晶显示能效和对比度不高的问题,提出了一种基于图像分类的全局动态调光算法,进行了大量的软件仿真,并开发了工程样机。实际测试结果表明:采用本算法的液晶电视平均整机能耗降低了 12.9%,平均对比度提高了 43.18%。本算法对于各类图像均可以有效地降低能耗和提高静态对比度。

参 考 文 献

- 1 Suk-Ju Kang, Young Hwan Kim. Multi-histogram-based backlight dimming for low power liquid crystal displays[J]. J Display Technology, 2011, 7(10): 544-549.
- 2 H Cho, O K Kwon. A backlight dimming algorithm for low power and high image quality LCD applications[J]. IEEE Trans Consumer Electron, 2009, 55(2): 839-844.
- 3 N Raman, G J Hekstra. Content based contrast enhancement for liquid crystal displays with backlight modulation[J]. IEEE Trans Consumer Electron, 2005, 51(1): 18-21.
- 4 Naehyuck Chang, Inseok Choi, Hojun Shim. DLS: dynamic

- backlight luminance scaling of liquid crystal display[J]. IEEE Trans Very Large Scale Integration Systems, 2004, 12(8): 837-846.
- 5 Fang-Cheng Lin, Yi-Pai Huang, Lin-Yao Liao. Dynamic backlight Gamma on high dynamic range LCD TVs[J]. J Display Technology, 2008, 4(2): 139-146.
- 6 T Funamoto, T Kobayashi, T Murao. High-picture-quality technique for LCD television: LCD-AI [C]. Proc. International Display Workshop, 2000. 1157-1158.
- 7 M J Remoco, E Langendijk, F Vossen. Spatio-temporally consistent video processing for local backlight dimming[C]. SID Digest, 2007, 39(1): 979-982.
- 8 H Seetzen, W Heidrich, W Stuerzlinger, *et al.*. High dynamic range display system[J]. ACM Trans Graphics, 2004, 23(3): 760-768.
- 9 F Lin, C Liao, L Liao, *et al.*. Inverse of mapping function (IMF) method for image quality enhancement of high dynamic range LCD TVs[C]. SID Digest, 2007, 38(1): 1343-1346.
- 10 C C Lai, C C Tsai. Backlight power reduction and image contrast enhancement using adaptive dimming for global backlight applications[J]. IEEE Trans Consumer Electron, 2008, 54(2): 669-674.
- 11 Y Jin, J Kim, H-J Lee. Reduction of quantization errors caused by dynamic LCD backlight scaling[J]. IEICE Electron Express, 2009, 6(9): 535-539.
- 12 S J Kang, Y H Kim. Image integrity-based gray-level error control for low power liquid crystal displays[J]. IEEE Trans Consumer Electron, 2009, 55(4): 2401-2406.
- 13 Qibin Feng, Hao Tong, Guoqiang Lü. An adaptive global LED backlight dimming for contrast enhancement and power reduction [J]. J Solid State Phenomena, 2012, 181-182: 241-244.
- 14 Feng Qibin, He Huijie, Zhang Weiwei, *et al.*. Global dimming algorithm for side-lit LED backlight [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(7): 1455-1462.
- 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.
- 15 Ministry of Information Industry of People's Republic of China. SJ/T11348-2006. Measurement Method of Digital Television and Flat Panel Display[S]. 2006.
- 中华人民共和国信息产业部. SJ/T11348-2006. 数字电视平板显示器测量方法[S]. 2006.

栏目编辑: 韩 峰