

文章编号:1007-2780(2011)02-0246-04

基于分层色调映射的 LED 背光调制算法

欧海燕, 郭太良*, 姚剑敏, 林志贤, 徐 胜

(福州大学 物理与信息工程学院, 福建 福州, 350002, E-mail:ouhaiyan174@163.com)

摘 要: 为了在降低液晶显示器背光功耗的同时能够保持图像质量, 提出了基于分层色调映射的 LED 背光调制算法。利用低通滤波对图像进行分层, 通过亮度对数映射函数把低频部分映射到低动态范围, 再与增益后的高频部分相结合为输出图像。将输出图像最大灰阶能够增加的数值作为 LED 背光因子降低值, 采用动态背光缩放技术, 降低背光强度值, 并提高液晶透光率, 对其亮度进行补偿。仿真实验结果表明, 采用这种方法, 在失真率为 4.8% 时, 可节省功耗 15.0%; 在失真率为 15.6% 时, 可节省功耗 34.0%。

关 键 词: 低通滤波; 色调映射; LED 背光调制

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20112602.0246

Modulation of LED Backlight Based on Hierarchical Tone Mapping Algorithm

OU Hai-yan, GUO Tai-liang*, YAO Jian-min, LIN Zhi-xian, XU Sheng

(College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University,
Fuzhou 350002, China, E-mail:ouhaiyan174@163.com)

Abstract: In order to cut down the power consumption of LCD backlight and maintain the image quality, a modulation algorithm based on hierarchical tone mapping for LED backlight is proposed. The image is layered by the low pass filter, then sent to the brightness logarithmic mapping function to map the low-frequency part to a lower dynamic range, and finally combined with the gained high-frequency part for outputting. Using the numerical value to which the maximum gray-scale of the image can increase as the value of number of the LED backlight factor that can be lowered, dynamic backlight scaling techniques are adopted to reduce the backlight intensity, improve the transmittance of LCD and compensate its brightness. Simulation results show that power consumption is reduced by 15.0% and 34.0% when the distortion rate is at 4.8% and 15.6% respectively.

Key words: low-pass filter; tone mapping; LED backlight modulation

1 引 言

当今,液晶电视、笔记本电脑、掌上电脑和手机都配备了彩色薄膜晶体管液晶显示器(TFT-

LCD)。LCD 为被动式显示器件,需要借助背光源才能实现显示功能。背光源性能的好坏直接影响 LCD 图像显示质量,其所消耗的电能占 LCD 模块的 75%^[1],是 LCD 功耗的主要来源。

收稿日期: 2010-11-09; 修订日期: 2010-12-21

基金项目: 国家“863”计划平板显示重大专项资助项目(No. 2008AA03A313); 福建省自然科学基金项目(No. 2010J01333); 福建省教育厅资助重点项目(No. JA09003)

作者简介: 欧海燕(1983—),女,福建邵武人,硕士研究生,主要研究方向为图像处理和 LED 背光。

* 通讯联系人, E-mail:gtl_fzu@yahoo.com.cn

LCD 功耗的降低可以通过调低背光亮度来实现。Chang 等提出背光的动态亮度调整技术^[2], 通过调节背光源强度和 LCD 面板透射率这两个参数, 能够在降低功耗的同时达到同样的人眼感光效果; 但是, 这种方法会使高像素亮度值得不到充分补偿, 导致图像对比度、视觉信息损失。为了解决这个问题, 可采用色调映射算法, 把图像映射到一个新的动态范围, 以提高图像对比度。而传统的色调映射, 如 Larson 等提出的基于直方图调整技术的色阶映射算子(TMO)^[3], 虽然可以较好地重现原始的对比度和可见性, 但是处理后的图像直方图大多呈现比较稀疏的分布, 且不能很好地模拟视觉适应特性。Drago 等提出变化对数基的映射曲线^[4], 虽然效果不错, 但是容易引起局部失真。

针对上述问题, 本文通过分层色调映射的方法, 将图像分成低频和高频两个分量, 低频分量变化比较平稳, 对其进行亮度映射, 可达到解决对比度损失问题; 而高频分量变化剧烈, 对其增大, 可解决视觉适应性和局部失真问题。将两个分量相结合输出, 不仅降低了背光功耗, 而且改善了图像质量。

2 LED 背光调制

2.1 LED 背光强度降低运算

LCD 亮度主要取决于 LCD 面板的透射率和背光源的亮度。

以 i 表示液晶显示器面板的输入灰度级, $t(i)$ 表示输入等级为 i 的面板的透射比, 则 $t(i)$ 定义如下:

$$t(i) = i^\gamma \quad (1)$$

其中 γ 取值范围为 2.2~2.5。以 $L(i)$ 表示液晶显示器面板的输出光亮度, 则 $L(i)$ 与透射比成正比:

$$L(i) = K \cdot t(i) \quad (2)$$

其中 K 为常数。

用 $L_{\text{DBS}}(i)$ 表示应用了动态背光缩放的液晶显示面板的亮度, 则 $L_{\text{DBS}}(i)$ 可以表示如下:

$$L_{\text{DBS}}(i) = K \cdot \beta \cdot t[p(\beta \cdot i)] \quad (3)$$

其中 β 表示降低的背光源亮度, 取值范围为 0~1。 $p(\beta, i)$ 是为补偿降低的背光亮度而增加输入灰度级的像素变换函数。当背光亮度降低即 $\beta < 1$ 时, $p(\beta, i)$ 必须大于 i 以使得 $L_{\text{DBS}}(i) = L(i)$ 。则 $p(\beta, i) = (1/\beta)^{1/\gamma} \times i$, 其中 $(1/\beta)^{1/\gamma}$ 代表输入灰度

级的缩放比例, 并以 ρ 表示, 即 $\rho = (1/\beta)^{1/\gamma}$ 。

2.2 色调映射与 LED 背光关系

由式(3)可知, 动态背光缩放液晶显示面板亮度与背光亮度、液晶面板透射比有关。为了保持原来的亮度, 就需要补偿降低的背光亮度的液晶面板透射比, 其灰度级为 $p(\beta, i) = (1/\beta)^{1/\gamma} \times i$ 。由于 $p(\beta, i) > i$, 而显示器显示的灰阶最大为 255, 所以这种方法对那些高灰度级像素无法进行充分的亮度补偿, 会造成图像对比度损失。为了解决这个问题, 在 LED 背光亮度降低前, 本文对低通滤波后的低频图像进行对数色调映射, 即把原始图像的范围映射到一个新的低动态范围, 再对色调映射后图像进行 LED 背光调制, 尽可能保留其细节。由于色调映射后图像的动态范围缩小, 因此可以色调映射最大灰阶所能够增加的数值作为 LED 背光因子 β 的降低值。

3 分层色调映射算法

一般来说, 平滑的图像信号对应频谱中的低频分量, 图像的边缘、细节部分对应较高频率分量^[5]。而噪声的频谱具有丰富的高频分量。从能量分布上看, 图像的能量主要集中在低频区, 而图像的区域边界和细节拥有较高频率的能量。事实表明, 人眼对分辨率识别能力有限, 当图像灰度很高或很低时, 人眼对灰度分辨率不敏感, 而当图像灰度适中时人眼分辨能力较强, 所以对图像的低频分量和高频分量分层处理, 既可以保持图像细节, 又可以提高图像对比度和亮度。巴特沃斯滤波器在高低频率间的过渡比较平滑, 因此采用巴特沃斯低通滤波器对图像进行处理。

所采用的算法是先对低频分量进行亮度对数映射, 对高频分量进行增益, 然后分量合并, 输出图像, 其框架图如图 1 所示。

利用巴特沃斯低通滤波器对输入图像进行分层, 得到低频部分图像 L 和高频部分图像 H。

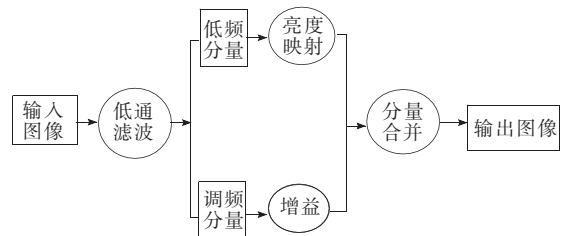


图 1 分层色调映射框架图

Fig. 1 Framework of hierarchical tone mapping

利用亮度对数映射对图像 L 进行压缩,以减少图像动态范围。亮度对数映射函数^[6]为:

$$L(D) = (C_{\max} - C_{\min}) \times \frac{\log(D + \tau) - \log(D_{\min} + \tau)}{\log(D_{\max} + \tau) - \log(D_{\min} + \tau)} + C_{\min} \quad (4)$$

这里, $D_{\max}$ 和 $D_{\min}$ 是给定图像的最大亮度和最小亮度, $C_{\max}$ 和 $C_{\min}$ 是压缩图像的最大亮度和最小亮度。

为了解决式(4)低灰阶损失的问题,需要对亮度映射函数进行改进:

$$L_1 = (C_{\max} - C_{\min}) \times \frac{\log(D + \tau) - \log(D_{\min} + \tau)}{\log(D_{\max} + \tau) - \log(D_{\min} + \tau)} + C_{\min} \quad (5)$$

$$L_2 = D - D_{\min} + C_{\min} \quad (6)$$

$$L' = \alpha_1 \times L_1 + \alpha_2 \times L_2 \quad (7)$$

其中 τ 取 0.001; $\alpha_1, \alpha_2 \in [0, 1]$ 。 α_1, α_2 取不同值对图像有一定影响。当 α_1 比 α_2 大时,图像偏亮;当 α_1 比 α_2 小时,图像偏暗。取 α_1, α_2 为 0.5 时,图像效果较好。

输出图像 I_{out} 表达式为:

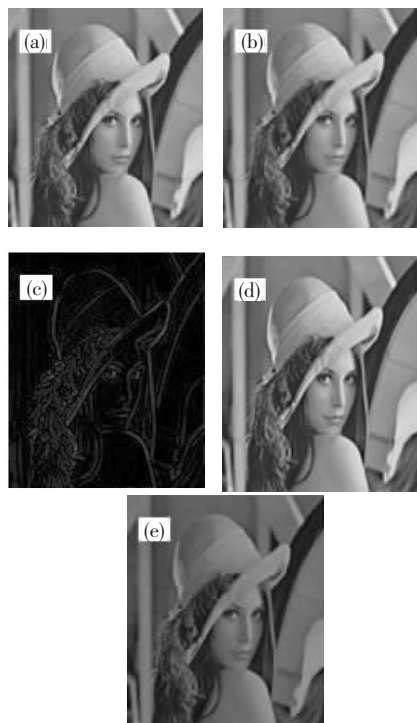


图 2 分层色调映射过程图像。(a)原图;(b)低频图像;(c)高频图像;(d)亮度映射图像;(e)输出图像。

Fig. 2 Images of hierarchical tone mapping. (a) Original image; (b) Low-frequency image; (c) High-frequency image; (d) Luminance mapping image; (e) Output image.

$$I_{\text{out}} = \beta_1 \cdot L' + \beta_2 \cdot H \quad (8)$$

这里,对参数 β_1, β_2 取值至关重要,不同的 β_1, β_2 对图像视觉效果有显著影响。 β_1 参数取值过小,图像偏暗;取值过大,压缩效果不明显。 β_1 取值范围为 0.7~1.0, β_2 参数取值为 1.1 时效果较佳,既可保留图像细节,又不影响图像压缩。

图 2 显示了一系列分层色调映射过程图像,其中图 2 (d)对应 $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$,图 2(e)对应 $\beta_1 = 0.8, \beta_2 = 1.1$ 。

4 结果与讨论

图像失真度和节电率是衡量 LED 背光调制效果的两个主要指标。图像失真度是指映射图像与参考图像之间的偏差程度;节电率是指背光降低的功耗占总功耗的比值。

4.1 图像失真度

基于结构失真的测量方法是一种很好的视觉评价图像失真的方法。

对于原始图像 X 和评价图像 Y ,提出一个简单有效的评价模型^[7],其数学表达式为:

$$Q = \left| \frac{4\sigma_{xy} \overline{xy}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\overline{x})^2 + (\overline{y})^2]} \right| \quad (9)$$

其中 $\overline{x}$ 和 $\overline{y}$ 分别是图像 X 和 Y 的平均亮度, σ_x 和 σ_y 分别表示 X 和 Y 的标准差, σ_{xy} 表示两者之间的协方差。

由式(9)推得图像失真度 D 表达式为:

$$D = 1 - Q \quad (10)$$

4.2 节电率

LED 背光节电率近似表达式为:

$$P_r = \Delta\beta = \frac{\Delta N_c}{N_t} \quad (11)$$

其中 $\Delta\beta$ 为背光因子降低百分值, ΔN_c 是图像灰阶压缩量, N_t 是图像灰阶总量。

4.3 仿真结果

将本文提出的算法与线性移位算法、亮度映射算法分别对 LED 背光进行调制。实验结果如图 3 所示。其中图 3 (a)为原图;图 3 (b)、(c)分别为采用线性移位算法和亮度映射算法的 LED 背光调制图,对应图像灰阶范围分别是 0~217, 0~200;图 3 (d)、(e)、(f)为采用本文改进算法的 LED 背光调制图,对应图像灰阶范围分别为 0~210, 0~180, 0~163。表 1 是在不同灰阶条件下的 LED 背光调制结果比较。

表 1 说明,当图像压缩到更小的范围时,图像失真更大,节电率也越大。由此可见,在 LED 背



图 3 各种不同映射算法的比较。(a)原图;(b)线性移位算法;(c)亮度映射算法;(d)(e)(f)对应不同 β_1 的本文算法[(d) $\beta_1=1.0$;(e) $\beta_1=0.8$;(f) $\beta_1=0.7$].

Fig. 3 Comparison of different mapping algorithms. (a) Original image; (b)Linear shift algorithm; (c)Intensity mapping algorithm; (d) (e) (f) Different values of β_1 in this article algorithm [(d) $\beta_1=1.0$, (e) $\beta_1=0.8$; (f) $\beta_1=0.7$].

参 考 文 献:

[1] 周志敏,纪爱华. LCD 背光驱动电路设计与应用实例[M]. 北京:人民出版社,2009:11.

[2] Chang N,Choi I,Shim H. DLS: Dynamic backlight luminance scaling of liquid crystal display [J]. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems*,2004,12(8):837-846.

[3] Larson W G,Rushmejer H,Piatko C. A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes [J]. *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*,1997,3(4):291-306.

[4] Drago F,Myszkowski K,Annen T, *et al.* Adaptive logarithmic mapping for displaying high contrast scenes [J]. *The Journal of Computer Graphics Forum*,2003,22(3):418-426.

[5] 王大红,胡茂林. 巴特沃斯非线性混合滤波器图像滤波方法设计 [J]. *计算机工程与应用*,2010,46(21):195-198.

[6] Qiu G,Guan J,Duan J, *et al.* Tone mapping for HDR image using Optimization a new closed form Solution[C]// *ICPR2006,18th International Conference on Pattern Recognition*,Hong kong: Hong Kong Convention and Exhibition Center,2006:996-999.

[7] Wang Z,Bovik A C. A universal image quality index [J]. *IEEE Signal Processing Letters*,2002,9(3):81-84.

表 1 不同灰阶范围条件下的 LED 背光调制结果
Table 1 Results of modulation of LED backlight under different gray-scale range conditions

图像	图像失真度/%	节电率/%
a	0	0
b	3.5	12.1
c	25.8	19.0
d	4.8	15.0
e	8.2	27.1
f	15.6	34.0

光调制中,图像失真和节电两者是相互矛盾的。本文提出的算法较线性移位算法、亮度映射算法有更强的节电能力和更好的视觉效果。

5 结 论

提出一种分层色调映射的 LED 背光调制算法,通过使用低通滤波对图像进行分离,对图像的低频部分做对数色调映射处理,对图像的高频部分进行增益以保持图像细节。这两部分结合后输出的图像在 LED 背光亮度降低后,图像偏暗,根据背光降低比率,对其亮度进行了补偿。仿真实验结果表明,本文方法在失真率为 4.8%时,可节省功耗 15.0%;在失真率为 15.6%时,可节省功耗 34.0%。与线性移位、亮度映射等其他算法相比较,本文算法能够显著地提高图像对比度和清晰程度,保持图像细节,减少功耗,延长 LED 背光寿命。