

文章编号: 1007-2780(2012)03-0318-06

临界背光亮度法改善 LCD 动态调光中的灰度截断

屠震涛, 郑仁涛, 张小宁*

(西安交通大学 电子物理与器件教育部重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘 要: LED 背光源 LCD 采用动态调光后, 为了在灰度截断和功耗之间取得平衡, 文章提出了基于临界背光亮度的灰度截断改善方法。该方法首先根据不同的算法分别计算出背光中间模块和边缘模块不产生灰度截断的临界背光亮度, 然后将所得到的临界背光亮度与用传统方法得到的对应背光亮度做比较, 选择较大值作为最终该模块的理想背光亮度并进行亮度的叠加。液晶补偿的灰度级由叠加后背光亮度得到。81 cm(32 in) LED 背光源实验结果表明, 该方法能够有效地改善灰度截断, 同时功耗没有显著增加。

关 键 词: 临界背光亮度; 灰度截断; 动态调光; LCD

中图分类号: TN873

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20122703.0318

Critical Backlight Luminance for Reducing Clipping Artifacts in Local Dimming LCDs

TU Zhen-tao, ZHENG Ren-tao, ZHANG Xiao-ning*

(Key Laboratory of Physical Electronics and Devices of the Ministry of Education, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A critical backlight luminance method to get balance between clipping artifacts and power consumption in local dimming LCDs is proposed. Firstly, the critical backlight luminance of middle backlight blocks and edge backlight blocks are computed with different process. Then the critical luminance is compared with the backlight luminance computed by conventional method, and the larger one is selected as the ideal backlight luminance for superimposing luminance. Finally, the gray-scales after liquid crystal compensation can be obtained according to the superimposed backlight luminance. The experiment results with 81 cm(32 in) LED backlight show that clipping artifacts ratio is reduced effectively and power consumption is not increased obviously.

Key words: critical backlight; clipping artifact; backlight dimming; LCD

1 引 言

液晶显示器(LCD)由于其重量轻、易于实现高分辨率,以及色彩表现力的不断提升,目前已成为应用范围最广的平板显示器件。随着 LED 光效的提高以及成本的降低,LED 已经成为背光源

的首要选择,采用 LED 作为背光后可以使用动态调光技术来降低功耗和提高图像的对比如^[1-5]。在传统的 LCD 中,背光源一直保持全亮,通过改变液晶的透过率来显示图像。为了降低 LCD 的背光功耗,提高对比度,大尺寸 LCD 中,常采用 LED 分区动态调光技术,常用的动态调光方法有

收稿日期: 2012-02-10; 修订日期: 2012-03-20

基金项目: 国家核高基重大专项基金(No. 2009ZX01033-001-003-5)

作者简介: 屠震涛(1976—),男,陕西西安人,博士,讲师,主要从事平板显示器件研究相关工作。

* 通讯联系人, E-mail: znn@mail.xjtu.edu.cn

最大值法(MAX)、平均值法(AVG)、均方根法(SR),以及反映函数法(IMF)^[6-10]。

分区动态调光技术虽然能够降低背光功耗,提高对比度,但会引起灰度截断(Clipping Artifact, CA)现象,主要原因是:分区调光降低了背光亮度,使得液晶补偿后的图像数据有可能超过255灰度,图像将无法正确表达灰度层次。CA轻微时会降低图像的局部对比度,严重时则会造成图像纹理细节的丢失。

目前用于改善图像灰度截断现象的方法可分为两类,一类称之为 Roll-off 法^[11],另一类称之为背光亮度假补偿法^[12-13]。Roll-off 法对出现和接近出现图像灰度截断的那部分图像灰度按照一定的算法进行处理,使之映射到具有一定灰度层次的图像灰度,从而将灰度层次表现出来。但这种方法牺牲那些接近出现灰度截断的图像灰度,来降低图像整体的灰度截断程度。因此, Roll-off 法的本质是用更大范围的失真来换取截断部分的灰度层次。该方法中采用了大量复杂且带有约束条件的数学运算,难以在硬件电路中实现。背光亮度假补偿法以设定的图像灰度截断允许误差为约束条件,计算出满足条件的背光分区亮度值,该背光分区亮度与原背光分区亮度之差就是改善图像灰度截断要引入的背光补偿量。所以 CA 的严重程度由约束条件决定。

CA 的严重程度与背光亮度的亮暗密切相关,提高背光是改善 CA 的重要途径。但是提高背光亮度假就意味着增加背光功耗,因此,我们提出了一种基于临界背光亮度的方法在 CA 和功耗之间取得平衡。根据 CA 产生的原因,该方法首先分别用不同的算法计算出背光中间分区和边缘分区的临界背光亮度假,然后将临界背光亮度假与传统算法得到的背光亮度假进行比较,选择其中的较大者作为理想的背光亮度假并进行亮度叠加。最后根据叠加后的背光亮度假进行液晶补偿,得到输出图像灰度级。在 81 cm(32 in) LED 背光源液晶平台上的显示实验结果表明,该方法能够有效地改善 CA,同时没有引起背光功耗的显著增加。

2 算 法

2.1 灰度截断原因分析

根据动态调光原理,降低 LED 背光源的亮度时,需要同时提高液晶像素的透光率,才能使动态

调光前后的输出图像具有相同的显示亮度。提高液晶像素的透光率就需要对控制液晶的图像灰度级进行改变,称之为液晶补偿。液晶补偿公式可由式(1)得出:

$$\begin{cases} L_{\text{dim}} = L_{\text{full}} & \text{equal brightness} \\ L_{\text{full}} = BL_{\text{full}} (GL_{\text{target}}/255)^\gamma & \text{backlight full on} \\ L_{\text{dim}} = BL_{\text{dim}} (GL_{\text{dim}}/255)^\gamma & \text{local dimming} \end{cases} \quad (1)$$

其中, L_{full} 和 L_{dim} 分别表示 LED 背光全亮和动态调光时图像的显示亮度值, BL_{full} 和 BL_{dim} 分别表示 LED 背光全亮和动态调光时背光的亮度。 GL_{target} 和 GL_{dim} 分别表示原始图像和液晶补偿后图像的灰度级。 γ 表示显示器的伽马参数,为常量。

由式(1)可得 GL_{dim} 的计算如下:

$$GL_{\text{dim}} = \left(\frac{BL_{\text{full}}}{BL_{\text{dim}}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \times GL_{\text{target}} \quad (2)$$

灰度截断的原理如图 1 所示。对于给定的一幅输入图像, GL_{target} , BL_{full} 和 γ 都是常数,因此 GL_{dim} 仅由 BL_{dim} 决定。假定背光全亮时的背光亮度假 BL_{full} 为 1,动态调光后的背光亮度假 BL_{dim} 为 A ,显然 $A \leq 1$,因此, $GL_{\text{dim}} \geq GL_{\text{target}}$ 。设 $B = 255 \times \left(\frac{BL_{\text{full}}}{BL_{\text{dim}}} \right)^{-\frac{1}{\gamma}}$,当输入的灰度级大于 B 时,在动态调光后的输出灰度级均大于 255,这时输入灰度级 B 到 255 就会出现灰度截断。 BL_{dim} 越低,则 B 越小,越容易出现 CA。

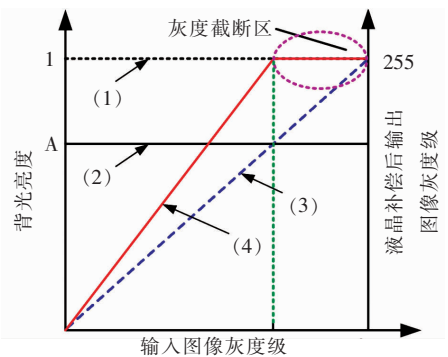


图 1 灰度截断原理。(1)和(3)分别是背光全亮时背光亮度假和输出图像灰度级;(2)和(4)分别是动态调光时背光亮度假和输出图像灰度级。

Fig. 1 Principle of clipping artifacts: (1) and (3) are backlight luminance and output gray-scales for backlight full on, respectively; (2) and (4) are backlight luminance and output gray-scales for local dimming, respectively.

2.2 临界背光亮度算法流程

临界背光亮度算法的流程如图 2 所示。在传统方法中,每个背光模块的理想背光亮度 $BL_{dim}(i, j)$ 可以由输入图像和动态调光算法算出。理想背光亮度 $BL_{dim}(i, j)$ 经过亮度叠加后,可以得到显示图像的实际背光亮度。最后,根据实际的背光亮度可以进行液晶补偿和 LED 背光的控制信号处理。

与传统的方法相比,我们提出的算法中有额外的处理步骤,如图 2 虚线框所示。首先我们根据背光的分区将图像分成若干个区,然后按传统的动态调光方法计算出每个分区的理想背光亮度 $BL_{dim}(i, j)$ 。由于理想背光亮度 $BL_{dim}(i, j)$ 可能会产生 CA, 所以为了避免 CA, 我们又计算了临界背光亮度 $BL_{critical}(i, j)$ 。 $BL_{critical}(i, j)$ 表示在某灰度级下, CA 恰好不产生的临界背光亮度。然后比较 $BL_{dim}(i, j)$ 和 $BL_{critical}(i, j)$, 并将其中的较大者作为该模块新的理想背光亮度 $BL_{dim}(i, j)$ 。最后根据输入图像的灰度级和经过亮度叠加后的所有模块的背光亮度进行 LED 背光的驱动控制信号处理和液晶补偿。

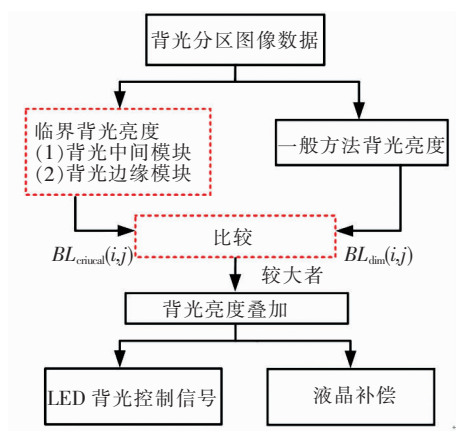


图 2 临界背光亮度算法流程图

Fig. 2 Flow chart of critical backlight luminance algorithm

在动态调光算法中,整个背光源会被分成若干个小区。由于背光源 LED 的均匀性排列,即使在条件相同的情况下,位于背光中间区域的模块亮度始终高于位于背光边缘区域的模块亮度。由背光亮度的不均匀性而产生 CA 的示意图如图 3 所示^[14]。液晶补偿后,背光中间分区的输出灰度级比边缘分区的低,所以 CA 在边缘分区更容易出现,如图 3 椭圆区域所示。因此,为了实现所提

出的算法,关键是要采用不同的处理方法,分别计算出背光中间区域和边缘区域的临界背光亮度。

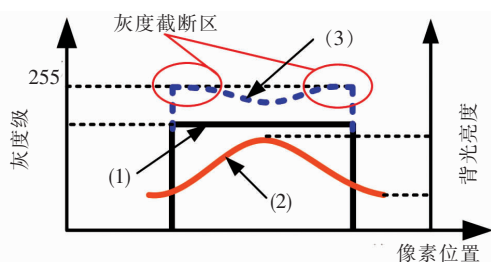


图 3 背光亮度不均匀性产生 CA: (1)输入图像灰度级, (2)背光实际亮度, (3)动态调光后输出灰度级。

Fig. 3 CA by non-uniformity backlight luminance: (1) gray-scales of input image, (2) real backlight luminance, (3) gray-scales of output image by using local dimming.

2.3 临界背光亮度

为了避免 CA, 经过液晶补偿后, 式(2)应满足如下关系:

$$GL_{dim} = \left(\frac{BL_{full}}{BL_{dim}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot GL_{target} \leq 255 \quad (3)$$

也就是说,背光亮度 BL_{dim} 应满足:

$$BL_{dim} \geq \left(\frac{GL_{target}}{255} \right)^{\gamma} \cdot BL_{full} \quad (4)$$

因此 CA 刚好不发生的临界背光亮度 $BL_{critical}$ 可以由式(5)得到:

$$BL_{critical} = \left(\frac{GL_{target}}{255} \right)^{\gamma} \cdot BL_{full} \quad (5)$$

实际的背光亮度是需要考虑各个分区之间的背光亮度叠加的。一般来说,亮度叠加的范围是 $(2r+1) \times (2s+1)$ 个模块矩阵。背光亮度、背光模块数量以及模块扩散函数(Block Spread Function, BSF)如图 4 所示。每个模块的实际背光亮度 $BL_{real}(i, j)$ 由各模块亮度 $BL(i, j)$ 和 BSF 卷积得到,如式(6)所示。

$$BL_{real}(i, j) = \sum_{m=-r}^{m=r} \sum_{n=-s}^{n=s} c_{m,n} \cdot BL(i, j) \quad (6)$$

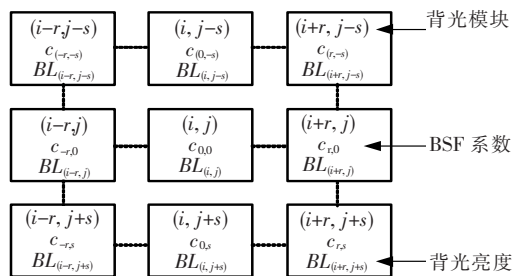


图 4 背光亮度及 BSF 系数

Fig. 4 Backlight luminance and BSF coefficient

其中 BSF 系数 $c_{m,n}$ 由背光结构决定并可以在实验中精确得到。

临界背光亮度假 $BL_{critical}$ 可由式(5)得到。当 $BL_{real}(i,j)$ 等于 $BL_{critical}$ 时,CA 不会发生。因此现在的问题是如何得到 $BL(i,j)$ 的值。一般来说,在满足背光源亮度均匀性要求的条件下,LED 的亮度扩散距离可以测得。例如,在 81 cm(32 in)LCD 背光源中,LED 亮度扩散的有效距离约为 5~10 cm,并且即使面板的尺寸变化很大,这个距离也不会显著变化。考虑到视频图像亮度在较小的空间内发生突变的可能性也较小,为了便于计算,我们假定任一背光分区的扩散函数所包含的背光分区的亮度与该背光分区亮度相等,即:

$$BL_{(i\pm r,j\pm s)} = BL_{(i,j)} \quad (7)$$

根据式(5)、(6)和(7),在经过亮度叠加前各分区不出现灰度截断的临界背光亮度假 $BL_{ideal}(i,j)$ 可以由式(8)计算得到:

$$BL_{ideal(i,j)} = \frac{BL_{full}}{\sum_{m=-r}^{m=r} \sum_{n=-s}^{n=s} c_{m,n}} \cdot \left(\frac{GL_{target}}{255}\right)^\gamma \quad (8)$$

对于背光中间的分区, $BL_{ideal}(i,j)$ 可以由式(8)计算得到。但由于背光边缘区域的分区不能被背光扩散掩膜板所完全覆盖,所以它与中间背光分区的亮度叠加和液晶补偿情况有明显不同。我们假定 BSF 卷积模板尺寸为 3×5 个背光分区。背光分区的类型可以分成 A~F 6 种,如图 5 所示。中间区域的背光分区类型如 F 所示,边缘区域背光分区类型如 A~E 所示。边缘背光 A~E 的实际亮度分别用 BL_{real_A} , BL_{real_B} , BL_{real_C} , BL_{real_D} 和 BL_{real_E} 表示,计算表达式如式(9)所示。

$$\begin{cases} BL_{real_A} = \sum_{r=0}^1 \sum_{s=0}^2 c_{r,s} \cdot BL_{ideal_A} \\ BL_{real_B} = \sum_{r=-1}^0 \sum_{s=-1}^2 c_{r,s} \cdot BL_{ideal_B} \\ BL_{real_C} = \sum_{r=-1}^0 \sum_{s=-2}^2 c_{r,s} \cdot BL_{ideal_C} \\ BL_{real_D} = \sum_{r=-1}^1 \sum_{s=-2}^0 c_{r,s} \cdot BL_{ideal_D} \\ BL_{real_E} = \sum_{r=-1}^1 \sum_{s=-2}^1 c_{r,s} \cdot BL_{ideal_E} \end{cases} \quad (9)$$

其中 BL_{ideal_A} , BL_{ideal_B} , BL_{ideal_C} , BL_{ideal_D} 和 BL_{ideal_E} 分别表示边缘分区 A~E 的理想亮度。因此,根据式(8)和式(9),恰好不产生灰度截断时边缘分区理想亮度可由式(10)得到:

$$\begin{cases} BL_{ideal_A} = BL_{full} \cdot (GL_{target}/255)^\gamma / \sum_{r=0}^1 \sum_{s=0}^2 c_{r,s} \\ BL_{ideal_B} = BL_{full} \cdot (GL_{target}/255)^\gamma / \sum_{r=-1}^0 \sum_{s=-1}^2 c_{r,s} \\ BL_{ideal_C} = BL_{full} \cdot (GL_{target}/255)^\gamma / \sum_{r=-1}^0 \sum_{s=-2}^2 c_{r,s} \\ BL_{ideal_D} = BL_{full} \cdot (GL_{target}/255)^\gamma / \sum_{r=-1}^1 \sum_{s=-2}^0 c_{r,s} \\ BL_{ideal_E} = BL_{full} \cdot (GL_{target}/255)^\gamma / \sum_{r=-1}^1 \sum_{s=-2}^1 c_{r,s} \end{cases} \quad (10)$$

所有背光分区的理想临界背光亮度假 BL_{ideal} 都可以由式(8)和式(10)计算得到。根据图(2)所示,我们可以选择较大值作为新的理想背光亮度假,并经亮度叠加后计算出输出灰度级 GL_{dim} ,最后进行 LED 背光的驱动控制信号处理和液晶补偿。

3 实验结果与讨论

在 81 cm(32 in)WXGA LED 背光源 LCD 平台上已经实现了提出的方法。首先,LED 背光分为 15×5 个区,每个分区的大小为 $46.9 \text{ mm} \times 79.6 \text{ mm}$ 。LED 背光分区 BSF 测得的结果如图 6 所示。亮度衰减到峰值亮度的 5% 时,此时距离发光中心约 88 mm。这个距离与分区模块的长度

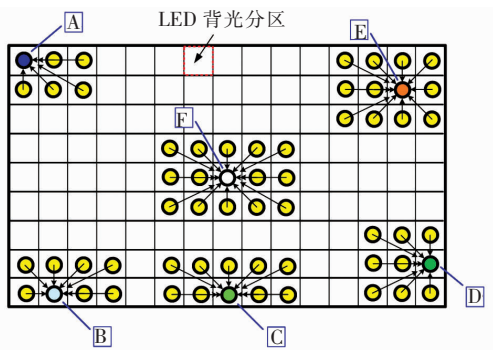


图 5 LED 背光分区分类示意图

Fig. 5 Schematic diagram of LED backlight block classification

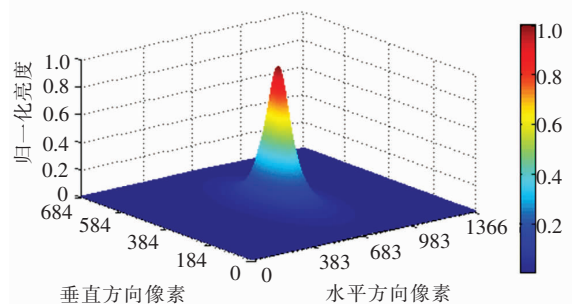


图 6 81 cm(32 in) LED 背光源 LCD 背光分区亮度分布
Fig. 6 Luminance distribution of LED backlight block in 81 cm(32 in) LCD

度相当,是分区模块宽度的两倍左右。因此,BSF 矩阵大小为 3×5 个背光分区,BSF 系数 $c_{i,j}$ 测量的结果如图 7 所示。

图 8 是低亮度图像、高亮度图像、高对比度图像 3 种图像使用背光全亮、IMF 法和本文方法在 81 cm(32 in)LED 背光源 LCD 上的显示结果。图 8 中第一行的方框表示采用传统调光方法时可能产生 CA 的地方。从图中可以很容易看出使用本文方法时,图像灰度的表现力要比 IMF 方法好很多,并且与背光全亮时很相似。

为了比较不同调光方法的 CA ratios,我们采用式(12)来计算 CA ratios^[14]。

$$CARatio = \frac{N}{400} \times 100(\%) \quad (12)$$

其中 N 是消失灰度条的数目。

使用背光全亮、IMF 法和本文方法时测得的 CA ratios 和功耗如表格 1 和表格 2 所示。从表 1

中可以看出,低亮度图像、高亮度图像以及高对比度图像在采用 IMF 法时的 CA Ratios 依次为 0.59%、10.31%和 12.49%,而采用本文方法时,CA Ratios 则依次降低至 0.15%、4.26%和 10.95%,这说明临界背光亮度法能够有效地改善图像灰度截断现象。从表 2 中可以看出,背光全亮时功耗为 110.2 W。与 IMF 法相比,临界背光

$c_{-2,-1}$ 0.051 9	$c_{-1,-1}$ 0.133 0	$c_{0,-1}$ 0.231 5	$c_{1,-1}$ 0.133 0	$c_{2,-1}$ 0.051 9
$c_{-2,0}$ 0.089 2	$c_{-1,0}$ 0.371 2	$c_{0,0}$ 1.000 0	$c_{1,0}$ 0.371 2	$c_{2,0}$ 0.089 2
$c_{-2,1}$ 0.051 9	$c_{-1,1}$ 0.133 0	$c_{0,1}$ 0.231 5	$c_{1,1}$ 0.133 0	$c_{2,1}$ 0.051 9

图 7 81 cm(32 in) LED 背光源 LCD BSF 矩阵系数
Fig. 7 Coefficients of BSF mask of LED backlight block in 81(32 in) LCD



图 8 低亮度图像、高亮度图像和高对比度图像显示结果图。

Fig. 8 Display results of dark, bright and high contrast images.

表 1 灰度截断率

Table 1 Clipping artifacts ratio

测试图像	Clipping Artifacts Ratio/%		
	背光全亮	IMF	本文方法
低亮度	0	0.59	0.15
高亮度	0	10.31	4.26
高对比度	0	12.49	10.95

表 2 功耗

Table 2 Power consumption

测试图像	Clipping Artifacts Ratio/%		
	背光全亮	IMF	本文方法
低亮度	110.2	35.4	40.9
高亮度	110.2	73.6	80.1
高对比度	110.2	75.5	85.5

亮度法的功耗分别增加了 5.5 W、6.5 W 和 10 W。这说明临界背光亮度法在改善 CA 的同时,并没有引起背光功耗的显著增加。

4 结 论

分析了液晶补偿后的图像灰度与背光亮度之间的关系,结果发现,较低的背光亮度更易引起 CA。因此,可以通过提高背光亮度来改善 CA。但是提高背光亮度就意味着增加背光功耗,所以,为了在功耗和 CA 之间取得平衡,本文提出了一种临界背光亮度法。首先,计算出了所有分区叠加后的临界背光亮度,然后根据不同的方法处理中间区域和边缘区域的理想背光亮度。通过在 81 cm(32 in)LED 为背光的 LCD 上显示验证,该方法能够有效地改善 CA,同时没有引起功耗的显著增加。

参 考 文 献:

- [1] 张普雷,史永胜,史耀华,等. 大功率背光源用 LED 驱动电路的研究现状与进展[J]. 液晶与显示, 2010, 25(1): 68-74.
- [2] Shirai T, Shimizukawa S, Shiga T, et al. RGB-LED backlights for LCD-TV's with 0D, 1D, and 2D adaptive dimming [C]// *SID 2006 Digest*, San Francisco:SID,2006:1520-1523.
- [3] Chen H F, Sung J, Ha T, et al. Locally pixel-compensated backlight dimming on LED-backlit LCD TV [J]. *J. SID*, 2007,15(12):981-988.
- [4] Shiga T, Shimizukawa S, Mikoshiba S. Power savings and enhancement of gray-scale capability of LCD TVs with an adaptive dimming technique [J]. *J. SID*,2008,16(2):311-316.
- [5] Hulze H G,Greef P. Driving an adaptive local dimming backlight for LCD-TV systems [C]// *SID 2008 Digest*, Los Angeles:SID,2008:772-775.
- [6] Cho H S, Kim H, Kwon O K. Adaptive selection algorithm for LED backlight of LCD-TV's [C]// *IDW 2008 Digest*, Niiyata, Japan:International Display Workshop, 2008:285-288.
- [7] Lin F C, Huang Y P, Liao L Y, et al. Dynamic backlight gamma on high dynamic range LCD TVs [J]. *J. Display Technology*,2008,4(2):139-146.
- [8] Cho H, Kwon O K. A backlight dimming algorithm for low power and high image quality LCD application[J]. *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 2009, 55(2):839-844.
- [9] Nam H. A color compensation algorithm to avoid color distortion in active dimming liquid crystal displays [J]. *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 2010, 56(4):2569-2576.
- [10] Cho H, Kwon O K. A local dimming algorithm for low power LCD TVs using edge-type LED backlight [J]. *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 2010,56(4):2054-2060.
- [11] Lai C C, Tsai C C. Backlight power reduction and image contrast enhancement using adaptive dimming for global backlight applications. [J]. *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 2008, 54(2):669-674.
- [12] Kerofsky L,Daly S. Brightness preservation for LCD backlight dimming [J]. *J. Soc. Inf. Display*, 2006,14(12): 1111-1118.
- [13] Hong J J, Kim S E,Song W J. A clipping reduction algorithm using backlight luminance compensation for local dimming liquid crystal displays [J]. *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 2010,54(1):240-246.
- [14] Chen H F, Ha T H, Sung J H, et al. Quantified evaluation for clipping artifact of local dimming in LCDs [C]// *SID 2010 Digest*,Seattle, USA:SID,2010:315-318.