

文章编号:1007-2780(2009)05-0723-06

TFT-LCD 在低背光状态下的图像增强算法

韩 峰, 魏廷存, 高德远

(西北工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710072, E-mail: heixia140@yahoo. cn)

摘 要: 在普通的手持显示设备中,降低背光亮度可以减小系统功耗,然而同时会导致显示图像的亮度和对比度下降,影响显示画质。通过分析 TFT-LCD 和 HVS(Human Visual System)的特征,提出了一种在低背光状态下的图像增强算法,可以在较低背光亮度下通过补偿图像的亮度和对比度来增强图像的显示效果。所提出的算法可以根据图像的具体内容选择不同的补偿方式,与同类算法相比,补偿后的亮度值更高。实验结果表明,所提出的算法可以提高图像亮度,改善图像显示效果,从而能更有效地降低系统功耗。

关 键 词: TFT-LCD;背光亮度;图像亮度补偿;对比度

中图分类号: TN321⁺. 5; TN911. 73

文献标识码: A

1 引 言

随着 3G 时代的到来,移动手持设备的功能越来越强,重量越来越轻,而功耗却越来越大。目前电池容量的增加速度远远赶不上这类电子设备对能量的消耗速度,因此,研究能够降低设备整体功耗的技术很有必要。

通过对电池供电产品的研究,发现作为 TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display)背光光源的 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)所消耗的能量是影响整个系统能量消耗的关键因素,例如,在 SmartBadge 系统中,当系统运行和待机时,CCFL 的功耗分别占系统总功耗的 28.6%和 50%^[1]。可见,降低背光亮度是降低系统功耗的一种有效方式。但是当背光亮度降低后,显示图像的亮度和对比度都会减小,从而导致图像失真度增加。文献[2~4]提出了 3 种改善显示图像质量的方法,它们均通过增强图像亮度来减小背光变暗引起的图像失真。在文献[2]中提出了 DLS(Dynamic Backlight Luminance Scaling)方法,根据不同的应用场景,采用亮度补偿、图像增强和文字处理等方式对图像进行亮度补偿;然而在失真度计算时,这种方法却没有考虑亮度溢出点对失真度的影响。在文献[3]

中提出了一种 CBCS(Concurrent Brightness and Contrast Scaling)方法,通过调节背光亮度和补偿系数来保证图像对比度不失真;但它是假设图像像素点的亮度值集中分布在较小的范围内为前提,因此这种方法对一般的图像并不适用。文献[4]将一种客观的失真度测量函数(均方差)和背光转换策略相结合,提出了一种 QABS(Quality-adaptive Backlight Scaling)方法,它虽然弥补了以上两种方法的缺点,但是客观的测量函数并不能反映 HVS(Human Visual System)对图像质量的主观评价,同时这种方法只采用一种亮度值映射关系对图像进行亮度补偿,所以并不可能最大限度地增加所有图像的亮度,从而不能最大限度地减小 TFT-LCD 模组的功耗。

本文所提出的算法可以根据图像像素点的亮度值分布情况,采用不同的亮度值映射关系对图像进行亮度补偿,同时根据 HVS 的特点对图像局部对比度进行增强,改进在低背光状态下的图像画质。与现有的方法相比,本文所提出的方法可以更有效地降低系统功耗。

2 背景介绍

2.1 HVS 的特征

相对于图像亮度,人眼对图像对比度更为敏

感。因此,在图像中相邻像素点的亮度差比它们的亮度值更重要^[5]。本文采用韦伯定理^[6],即用亮度的变化量与背景亮度的比值来表示对比度。如图 1 所示: ΔL 是亮度增加或减小的变化量, L 是背景的亮度值。

图 1 对比度计算方法示意图

Fig. 1 Method for calculating the image contrast

2.2 TFT-LCD 显示特征

TFT-LCD 面板本身不能发光,它是通过调制光源发出的光线来显示图像的。根据光源的不同,TFT-LCD 面板可以分为 3 类:反射式 LCD、透反式 LCD 以及透射式 LCD。本文主要讨论的是透射式 LCD。

在透射式 LCD 中,人眼所观察到的像素点亮度 L 与两个因素有关:一个是背光亮度 B ;另一个是图像像素点的亮度 Y 。如果用 8 位二进制数表示亮度值,则当 $Y=0$ 时表示该像素点处没有光线射出,此时人眼所观察到的像素点亮度值最小;当 $Y=255$ 时表示在该像素点处从背光射来的光线完全透过(假设 LCD 面板是理想情况),此时人眼所观察到的像素点亮度值最大。上述关系可以用公式(1)表示为:

$$L = b \times B \times Y$$

(1)

式(1)中的 b 表示背光因子,其取值范围为 $0 \sim 1$,当 $b=0$ 时表示背光亮度的为 0,即关闭背光,当 $b=1$ 时表示背光亮度的最大。

当背光亮度的降低时,背光因子 $b < 1$,为了使

必须使图像像素点的亮度相应变为 $Y'=Y/b$ 。由于 Y' 使用一个 8 位二进制数表示,其最大值为 255,所以当 Y 很大而 b 很小时会导致 Y' 超出亮度值所能表示的最大范围,这种情况称为亮度值溢出,此时需要对 Y' 的值进行裁剪。上述亮度补偿方式可用公式(2)表示:

$$Y' = \frac{Y}{b}, Y' = \begin{cases} Y', & \text{当 } Y' \leq 255 \\ 255, & \text{当 } Y' > 255 \end{cases}$$

(2)

3 算法与分析

如前所述,降低背光亮度的会造成显示图像的亮度和对比度损失。为了弥补这种损失,本文提出的算法主要由两部分组成:亮度补偿和局部对比度加强。

3.1 亮度补偿

由于采用公式(2)所示的亮度值映射关系进行亮度补偿后,像素点的亮度值很容易发生溢出,进而容易造成补偿后的图像质量变差,因此将图像的像素点根据其亮度值分为 3 类,并对它们采用不同的方法进行处理,从而减少发生亮度值溢出的像素点个数。Ⅰ型图像像素点的亮度值在 $0 \sim g_l$ 范围内,由于这类像素点的亮度值较小,进行亮度补偿后不会超过亮度值的表示范围,所以这类像素点可以用较大的系数进行补偿;Ⅱ型图像像素点的亮度值在 $g_l \sim g_u$ 范围内,这类像素点的亮度值偏大,补偿后容易造成图像失真,所以这类像素点必须用较小的系数进行亮度补偿;Ⅲ型图像像素点的亮度值在 $g_u \sim 255$ 范围内,这类像素点在亮度补偿后会发生亮度值溢出,需要对其进行裁剪,此时图像亮处的部分细节会丢失,所以如果图像亮处的细节比较多时,需要保证这类像素点的数量比较少。根据上述方法,本文算法采用的亮度值映射关系如公式(3)所示。式(3)中的参数 g_l 和 g_u 需要根据图像像素点的亮度值分布情况来确定。

$$\mu_{\text{bench}} = \begin{cases} 2 \times \frac{255}{g_u} \times \mu_{\text{local}} & , \text{当 } \mu_{\text{local}} \leq \frac{g_l}{4} \\ \frac{2}{3} \times \frac{255}{g_u} \times \mu_{\text{local}} + \frac{1}{3} \times \frac{255}{g_u} \times g_l & , \text{当 } \frac{g_l}{4} < \mu_{\text{local}} \leq g_l \\ \frac{255}{g_u} \times \mu_{\text{local}} & , \text{当 } g_l < \mu_{\text{local}} \leq g_u \\ 255 & , \text{当 } g_u < \mu_{\text{local}} \end{cases}$$

(3)

式(3)中的 μ_{local} 是像素点附近 9 个点的加权亮度均值,如公式(4)所示; W_i 是像素点的权值; M 为权值之和。

$$\mu_{\text{local}} = \frac{1}{M} \times \sum_{i=0}^8 (W_i \times z_i) \tag{4}$$

为了确定式(3)中的参数 g_l 和 g_u ,给出了 3 种图像的亮度直方图,如图 2 所示。I 型图像中像素点分布偏向两端,中间亮度的像素点较少,由于对亮度为 0 和 255 附近的像素点进行亮度补偿时,整幅图像的亮度几乎不会升高,例如亮度为 0 或 255 时,即使补偿系数趋于无穷,补偿后的亮度仍为 0 或 255,所以对这类图像不能进行亮度补偿;II 型图像中像素点分布偏暗,在亮处的像素点分布较少,所以图像在亮处的细节较少,可以选择偏小的 g_u ;III 型图像中像素点分布偏亮,在暗处像素点分布较少,所以图像在亮处的细节比较多,需要选择偏大的 g_u 。

为了确定图像的类型,需要计算式(3)和式

(5)处理后的图像失真度 D 。失真度 D 采用文献[7]所述的 UIQI 方法进行计算,其计算公式如式(4)所示。在 UIQI 方法中,图像失真度由 3 部分组成,分别是相关性失真、亮度失真和对比度失真。与传统亮度补偿算法中的失真度计算方法相比,此方法虽然计算量稍大,但是可以更好地反映 HVS 对图像质量的主观评价。图 3 所示是 $g_u=255$ 时,图像失真度 D 和 g_l 之间的关系。由该图可知,当像素点分布偏向两端,即对应于图 2 中 I 型图像而言, D 和 g_l 之间的曲线斜率的绝对值较小;当图像像素点分布偏暗,即对应于图 2 II 型图像而言,该曲线斜率的绝对值较大,且 $g_l=255$ 时失真度 D 最小;当图像像素点分布偏亮,即对应于图 2 III 型图像而言,该曲线斜率的绝对值偏大,且当 $g_l=255$ 时失真度 D 比 I 和 II 型图像都大。所以算法采用 $g_u=255$ 时,用 g_l 和补偿后图像失真度 D 的关系曲线的斜率来区分 I 型图像,采用 $g_u=255, g_l=255$ 时的失真度来区分 II 型和 III 型

图 2 三类图像的亮度直方图

Fig. 2 Luminance histograms for 3 kinds of images

图 3 图像的亮度直方图和 g_l 与失真度的关系曲线

Fig. 3 Image luminance histograms and the curve between g_l and distortion D

图像。

$$D = \frac{4\sigma_{xy}\overline{xy}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\overline{x})^2 + (\overline{y})^2]}$$

(4)

式(4)中 x 、 y 分别表示原图和补偿后图像的像素点亮度值, $\overline{x}$ 和 $\overline{y}$ 分别表示原图和补偿后图像的像素点亮度均值,其计算公式如式(5)所示。 σ_x^2 和 σ_y^2 分别表示原图和补偿后图像的像素点亮度值的均方差,其计算公式如式(6)所示。 σ_{xy} 表示原图和补偿后图像的像素点亮度值的协方差,其计算公式如式(7)所示。式(5)、(6)和(7)中的 N 表示图像像素点的总数。

$$\overline{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \overline{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

(5)

图 4 所提出的算法流程图

Fig. 4 Flow chart of algorithm proposed by this paper

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \overline{x})^2$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \overline{y})^2$$

(6)

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \overline{x})(y_i - \overline{y})$$

(7)

本文算法的具体流程如图 4 所示,其中, K_{th} 是区分 I 型图像的阈值,当斜率 $K < K_{th}$ 时图像为 I 型图像; D_{th} 是区分 II 型和 III 型图像的阈值,当图像在 $g_u = 255, g_l = 255$ 时的失真度 D 大于 D_{th} 时,图像为 III 型图像,否则为 II 型图像。在对 II 型和 III 型图像进行补偿时,还需调整参数 g_l 以使图像补偿后的失真度满足用户的需求。

3.2 对比度增强

使用公式(3)和(4)计算得到 μ_{local} 和 μ_{bench} 之后,可以通过公式(5)计算补偿后像素点的亮度值,公式(5)中的 z 为原像素点的亮度值。

$$z' = (1/b)(\mu_{local}/\mu_{bench}) \times (z - \mu_{local}) + \mu_{bench}$$

(5)

由于人眼对局部对比度特别敏感,所以采用韦伯定理^[6]对图像局部对比度进行增强。公式(5)中的 μ_{local} 和 $(z - \mu_{local})$ 相当于图 1 所示的 L 和 ΔL ,为了保证对比度不变,当 L 变大时, ΔL 也应该增加。 $1/b$ 是对比度增强系数,它用来补偿因背光亮度降低所导致的对比度损失。

4 实验结果

分别采用文献[8]改进后的 QABS 算法和本文算法处理相同的 10 幅图像,处理结果如图 5 和表 1 所示。在图 5 中,5(a)为没有降低背光亮度时原图像的显示效果;5(b)为降低背光亮度后,用 QABS 算法处理后的图像显示效果,它与 5(a)

图 5 (a)原图像;(b)QABS 处理后的图像;(c)本文算法处理后的图像。

Fig. 5 (a)Original image;(b)Image processed by QABS;(c)Image processed by proposed method.

相比,虽然图像中心部分的亮度稍有变暗,但是图像细节并没有丢失;5(c)为降低背光亮度后,用本文算法处理后的图像显示效果,它与 5(b)相比图像的亮度略有提高,并且图像的对比度和细节表现更好。通过表 1 可以看出,用本文算法处理后图像亮度值更高。

文献[9]给出了背光功耗计算公式(6)。式中 $C_s=0.823\ 4,A_{lin}=1.960\ 0,C_{lin}=-0.237\ 2,A_{sat}=6.944\ 0,C_{sat}=-4.324\ 0$ 。

$$P_{backlight}(b)=\begin{cases} A_{lin}\times b+C_{lin}, & \text{当 } 0\leqslant b\leqslant C \\ A_{sat}\times b+C_{sat}, & \text{当 } C_s\leqslant b\leqslant 1 \end{cases}$$

(6)

根据公式(6)计算得到的图像补偿后的功率节省率如表 2 所示。与 QABS 算法相比,本文算法在失真度为 60%,75%和 90%时功耗的平均节省率分别提高了 2.2%,1.5%和 24%。

表 2 不同的失真度时的功耗节省率

Table 2 Percentage of power saving for different distortion levels

图像编号	$D_{is}=60\%$		$D_{is}=75\%$		$D_{is}=90\%$	
	本文算法(%)	QABS(%)	本文算法(%)	QABS(%)	本文算法(%)	QABS(%)
01	37.08	0	48.31	54.29	65.51	67.01
02	42.40	0	58.78	49.80	66.26	58.78
03	29.15	2.65	51.30	51.30	63.27	64.76
04	29.15	0	37.83	40.08	64.02	67.76
05	40.82	36.34	57.28	50.55	65.51	59.53
06	44.56	0	58.03	63.27	70.75	70.75
07	46.06	44.56	65.51	59.53	71.50	67.01
08	31.10	18.55	37.83	47.56	60.27	64.02
09	34.45	0	58.78	50.55	65.51	58.78
10	44.56	37.08	58.78	50.55	67.01	59.53
平均值	37.9	13.9	53.2	51.7	65.9	63.7

5 结 论

提出了一种彩色 TFT-LCD 背光动态调节算法,通过补偿显示图像的亮度和对比度,在保证图像

表 1 QABS 和本文算法补偿后的图像亮度

Table 1 Image luminance processed by QABS and proposed method

图像编号	原图像亮度	QABS 补偿后亮度	本文算法 补偿后亮度
01	73	116	127
02	120	143	177
03	92	114	118
04	75	105	105
05	151	168	184
06	76	152	161
07	103	137	170
08	52	83	82
09	132	141	167
10	148	164	195

显示质量的前提下,对 TFT-LCD 的背光亮度进行动态调节,以达到节省功耗的目的。实验结果表明,与现有技术相比,所提出的算法可以在保证图像质量的前提下,有效降低 TFT-LCD 模组的功耗。

参 考 文 献:

[1] Simunic T, Benini L, Glynn P, *et al.* Event-driven power management [J]. *IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 2001, 20:840-857.

[2] Chang Naehyuck,Choi Inseok, Shim Hojun. DLS: Dynamic backlight luminance scaling of liquid crystal display [J]. *IEEE Trans on Very Large Scale Integration Systems*, 2004, 12:837-846.

[3] Cheng Wei-Chung, Hou Yu, Pedram Massoud. Power minimization in a backlit TFT-LCD display by concurrent

- brightness and contrast scaling [J]. *IEEE Consumer Electronics Society*, 2004,50:25-32.
- [4] Cheng Liang, Bossi Stefano, Mohapatra Shivajit. A backlight optimization scheme for video playback on mobile devices [C]//*Proc. Consumer Communications and Networking Conference*, Las Vegas; IEEE Press, 2006: 833-837.
- [5] Funt B V, Barnard K, Cardei V. Luminance-based multi-scale Retinex [C]//*Proc. Applied Imagery Pattern Recognition Workshop*, Kyoto; IEEE Press, 1997: 330-333.
- [6] Mantiuk Rafal, Myszkowski Karol, Seidel Hans-Peter. A perceptual framework for contrast processing of high dynamic range images [J]. *ACM Trans. on Applied Perception*, 2006, (3):286-308.
- [7] Wang Zhou, Bovik Alan C. A universal image quality index [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2002,9(3): 81-84.
- [8] Tsai Pei-Shan, Liang Chia-Kai, Chen Homer H. Image quality enhancement for low backlight TFT-LCD displays [C]// *IEEE International Conference on Image Processing*, San Antonio; IEEE Press, 2007:473-476.
- [9] Ali Iranli, Hanif Fatemi, Massoud Pedram, *et al.* HEBS: Histogram Equalization for Backlight Scaling [C]// *Proc. Design, Automation and Test in Europe*, Munich; IEEE Press, 2005:346-351.

Image Luminance and Contrast Enhancement Algorithm for Low Backlight Color TFT-LCD

HAN Feng, WEI Ting-cun, GAO De-yuan

(School of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China, E-mail: heixia140@yahoo.cn)

Abstract

For a typical portable handset, substantial energy savings can be achieved by dimming backlight intensity levels, but it also decreases the contrast and brightness of the displayed image. This paper analyzes the characteristics of TFT-LCD and Human Visual System (HVS), and then presents a dynamic dimming backlight algorithm to reduce power consumption while complementing image luminance and contrast to maintain the image quality. The algorithm proposed can choose backlight complementary method according to the contents of images, so it can achieve higher luminance than traditional methods. The experimental results indicate that the power dissipation of backlight can be significantly reduced while the desired image quality is maintained.

Key words: TFT-LCD; backlight; image luminance complement; contrast

作者简介:韩峰(1984—),男,山西晋城人,硕士研究生,主要研究方向为计算机系统结构,数模混合集成电路设计等。