

基于S曲线的两级动态调光算法研究

韩东^{a,b}, 梁监天^{a,b}, 张磊^{a,c}, 冯奇斌^{a,d}, 吕国强^{a,d}

(合肥工业大学, a. 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; b. 仪器科学与光电工程学院; c. 计算机与信息学院; d. 光电技术研究院, 合肥 230009)

摘要: S曲线全局调光算法能够降低LED液晶显示器的功耗并提高显示图像静态对比度,为了进一步提高节能率,提出了基于S曲线的两级动态调光算法。首先对输入图像的所有像素分量进行线性放大,将输入图像的像素灰度级整体提升;然后利用S曲线对线性放大后的图像进行像素补偿,同时输出调整后的背光亮度信号。对40幅典型图像进行了仿真,结果表明:平均背光节能30%,静态对比度提高33%。开发了工程样机,对6类常见的电视节目进行测试,整机平均节能25.1%,静态对比度提高了30%。与S曲线全局调光算法相比,所提算法在显示性能保持不变的同时,能进一步将节能率提高10%。

关键词: 全局调光; 两级动态调光; 液晶显示器

中图分类号: TN27 文献标志码: A 文章编号: 1671-637X(2015)10-0081-04

A Two-Step Dynamic Dimming Algorithm Based on S-curve

HAN Dong^{a,b}, LIANG Jian-tian^{a,b}, ZHANG Lei^{a,c}, FENG Qi-bin^{a,d}, LYU Guo-qiang^{a,d}

(Hefei University of Technology, a. 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; b. School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering; c. School of Computer and Information; d. Academy of Photoelectric Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: S-curve global dimming algorithm can reduce the power consumption of LED-lit Liquid Crystal Display (LCD) and improve the static contrast of display images. In order to further increase the power-saving efficiency, a two-step dynamic dimming algorithm based on S-curve is proposed. First, the gray levels of all sub-pixels of the input image are adjusted according to the maximum gray level, the pixel gray levels of input image are upgraded on the whole. Then, the pixel compensation is performed to the linearly amplified image with S-curve, and backlight brightness signals after adjustment are output at the same time. The simulation results of 40 typical images show that: the average backlight power is saved by 30%, and the static contrast is increased by 33%. The engineering prototype is developed to test six common TV programs. The result shows that the overall average power-saving is 25.1%, and the static contrast is increased by 30%. Compared with S-curve global dimming algorithm, the proposed algorithm can further increase the power-saving efficiency by 10% while maintaining the same display performance.

Key words: global dimming; two-step dynamic dimming; LCD display

0 引言

液晶显示器(LCD)为被动发光性显示装置,需要借助背光源才能实现显示功能。背光源在传统恒定亮度模式下,消耗较多的电能;加之液晶自身的非理想特

性引起的漏光现象严重降低了显示图像的对比度。为提高显示器能效和对比度,国内外学者开始研究动态调光技术,即根据显示图像的内容动态地改变背光亮度及像素补偿,以降低功耗并减少暗图像的漏光来提高对比度。

根据背光模块中光源是否区域可控,动态调光技术可分为全局调光技术^[1-6]和区域调光技术^[7-10]。区域调光技术是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图像的内容而变化。

收稿日期:2014-12-05

基金项目:安徽省2012科技计划资助项目(1206c0805007)

作者简介:韩东(1986—),男,吉林松原人,硕士生,研究方向为成像与显示技术。

全局调光技术则是整体调节背光亮度。区域调光算法与全局调光算法相比节能效果更好,但存在光线串扰、算法复杂、成本高、硬件控制复杂等问题。

现有的全局调光算法^[1-3]中,虽然可以取得一些节能效果,但是其中大多数存在像素溢出失真现象且无法有效提高对比度。采用S曲线补偿液晶像素的调光算法^[4-6]能够降低显示器功耗,提升静态对比度且无像素溢出失真。但是,其背光亮度是根据像素的最大亮度决定的,对像素最大亮度小于255的图像,有望进一步提高节能率。本文就是在原有S曲线全局调光算法的基础上,提出了改进的两级动态调光算法,以期进一步降低能耗。

1 S曲线全局调光算法介绍

1.1 背光亮度的确定

根据式(1)确定背光调节亮度,即

$$\begin{cases} B_{L_S} = p_{avg} + (p_{diff} + \frac{p_{diff}}{255}) \\ p_{diff} = p_{max} - p_{avg} \end{cases} \quad (1)$$

式中: B_{L_S} 为输出背光亮度; p_{avg} 为所有像素的灰度平均值; p_{max} 为所有像素的最大灰度值。

1.2 液晶像素补偿

S曲线全局调光算法的像素补偿基于S曲线,S曲线方程为

$$L_{out} = \frac{255}{1 + e^{a(L_{point} - L_{in})}} \quad (2)$$

式中: L_{in} 为输入像素灰度值; L_{out} 为输出像素灰度值; a 为S曲线的曲率参数; L_{point} 为S曲线拐点横坐标。 L_{point} 决定像素调节的范围,由式(3)确定,即

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

式中: L_{25} 为灰度直方图累加到像素点总数25%处对应的灰度值; L_{50} 为灰度直方图累加到像素点总数50%处对应的灰度值。

如图1所示:当 $L_{in} > L_{point}$ 时,其像素调节因子大于1; $L_{in} < L_{point}$ 时,其像素调节因子小于1。从亮度角度来看:图像对应区域的像素调节因子大于1时,亮度增强;图像对应区域的像素调节因子小于1时,亮度减弱。以此有效提高静态对比度。

像素输出值 $(R_{out}, G_{out}, B_{out})$ 及像素补偿因子 K_{LCD} 由式(4)计算,即

$$\begin{cases} k_{LCD} = \frac{L_{out}}{L_{in}} \\ (R_{out}, G_{out}, B_{out}) = (R_{in}, G_{in}, B_{in}) \times k_{LCD} \end{cases} \quad (4)$$

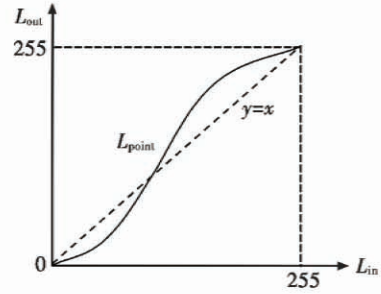


图1 S曲线及其关键点

Fig.1 S-curve and its key point

2 两级动态调光算法

为了进一步降低LED背光液晶电视的能耗,本文对上述调光算法进行了改进,提出两级动态调光算法。

1) 计算线性放大系数 K 与背光下降系数 K_{bl} 。

$$\begin{cases} K = \frac{255}{M_{all}} \\ K_{bl} = \begin{cases} \frac{1}{K} & M_{all} \neq 0 \\ 0 & M_{all} = 0 \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

式中: K 为线性放大系数; M_{all} 为整幅输入图像中所有红分量、绿分量和蓝分量的最大值; K_{bl} 处于 $0 \sim 1$ 之间,当所有子像素中的最大值等于255时, $K_{bl} = 1$,当显示全黑场图片时, $K_{bl} = 0$,背光关闭。

2) 利用式(6)对输入图像的所有像素进行线性放大。

$$(R', G', B') = (R_{in}, G_{in}, B_{in}) \times K \quad (6)$$

式中, (R_{in}, G_{in}, B_{in}) 为像素输入值。将输入图像所有像素分量同乘以线性放大系数 K ,则图像灰度级整体提升且不会出现溢出失真,得到线性放大后的图像像素 (R', G', B') 。

3) 利用式(3)求取图像 (R', G', B') 的拐点 L'_{point} ,以 L'_{point} 为拐点对线性放大后的图像 (R', G', B') 进行像素补偿。

通过式(6)推导,有式(7)成立,即

$$L'_{point} = K \times L_{point} \quad (7)$$

拐点 L'_{point} 确定了S曲线调节中像素调节的范围,由式(7)可以看出:两级动态调光算法与S曲线全局调光算法相比,像素补偿因子大于1和小于1分别对应像素点的数量不变。

4) 通过式(8)求得两级动态调光算法的背光输出亮度 B_{Lout} 。

$$B_{Lout} = B_{L_S} \times K_{bl} \quad (8)$$

针对具体图例对比分析两种调节算法。图2为S曲线全局调光算法的效果对比,图2a为原图,图2b为

算法仿真效果图。如图中所示,原图的背光亮度 $B_L = 255$,算法仿真后 B_L 下降为 165。



图 2 S 曲线全局调光算法

Fig. 2 S-curve overall dimming algorithm

图 3 为两级动态调光算法的效果对比。图 3a 为原图,图 3b 为算法仿真效果图。如图中所示,原图的背光亮度 B_L 为 255,算法仿真后 B_L 下降为 97,其中 $K_{in} = 1.7$ 。



图 3 两级动态调光算法

Fig. 3 Two-step dimming algorithm

图 4 为两种算法的 S 曲线,横坐标是输入曲线的灰度值,纵坐标对应经过 S 曲线调整后输出图像的灰度值。图 4a 中像素补偿曲线仅为 S 曲线的一段,其中 $L_{point} = 65$,而图 4b 中像素补偿曲线利用了 S 曲线的全部, $L'_{point} = 110$ 。

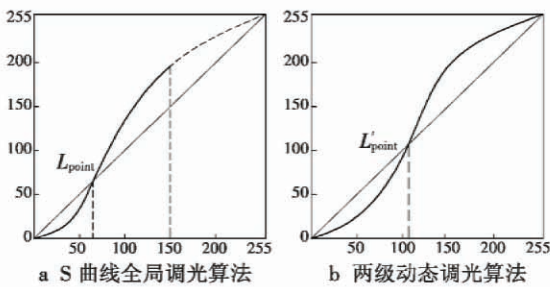


图 4 两种算法的 S 曲线

Fig. 4 S-curve of different dimming algorithms

由式(8)可以看出:虽然像素补偿因子大于 1 和小于 1 分别对应像素点的数量不变,但是经过线性放大后,像素补偿因子所乘的像素值(R', G', B')变大,即调节后的补偿量变大,所以两级动态调光算法调节后的对比度较 S 曲线全局调光算法略有提升。

通过具体图例分析,两级动态调光算法相比 S 曲线全局调光算法,能够在保证显示效果的基础上进一步降低背光亮度。

3 软件仿真

本文选取 40 张图像进行仿真试验(如图 5 所示,共 40 幅图像),仿真结果如图 6 和图 7 所示。图像对比度为

$$C_R = \frac{L_{90}}{L_{10}} \times 100\% \quad (9)$$

式中: L_{90} 为灰度直方图累加到像素点总数 90% 处对应的灰度值; L_{10} 为灰度直方图累加到像素点总数 10% 处对应的灰度值。

背光节能率(P-R)为

$$P_R = \frac{(255 - B_{Lout})}{255} \times 100\% \quad (10)$$

式中, B_{Lout} (0 ~ 255)为仿真中得到的背光亮度值。



图 5 仿真图像

Fig. 5 Simulation images

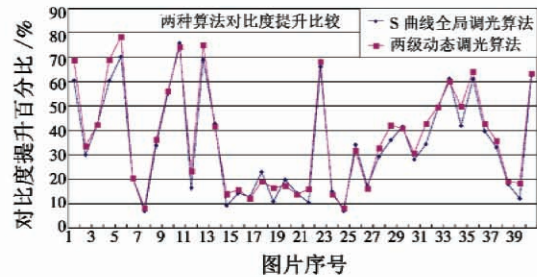


图 6 对比度仿真结果

Fig. 6 Results of CR simulation

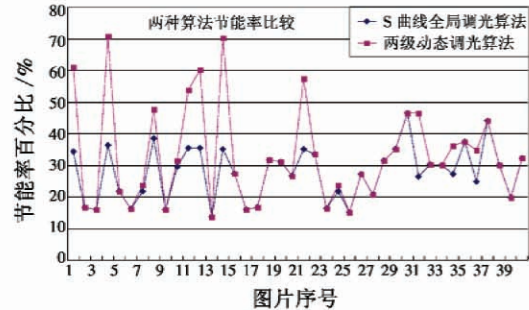


图 7 背光节能仿真结果

Fig. 7 Results of backlight power reduction

从图 6 可知,两级动态调光算法与 S 曲线全局调光算法相比,调节后图像的对比度基本保持不变。从图 7 中看出,在处理 1, 4, 11, 12, 14 等低亮度图像时,两级动态调光算法相对于 S 曲线全局调光算法节能率明显提高,而对高亮度图像节能率略有提高或基本保

持不变。

统计结果表明:经过两级动态调光算法处理后的40幅图像背光节能率平均值为30%,静态对比度提升33%。而S曲线全局调光算法对相同40幅图像的背光节能率平均值为19%。

4 工程化样机

采用本文调光算法的液晶电视工程样机,对角线尺寸为127 cm(16:9),正常使用时功耗为86~89 W。如图8所示,左边一台采用本文的两级动态调光算法,右边一台采用的是S曲线全局调光算法。两台液晶电视均接有功率计,可显示实时功耗。



图8 动态调光工程样机结果

Fig. 8 Dimming LED-TV prototype

节能率 R_p 为

$$R_p = \frac{P - P'}{P} \times 100\% \quad (11)$$

式中: P 为不采用调光的电视机功耗; P' 为采用调光的电视机功耗。

利用式(11)求得图8a、图8b两张测试图像的样机节能率,如表1所示。

表1 两种调光算法样机功率

Table 1 Power of the two dimming algorithms

图号	P'_1/W	P'_2/W	P/W	$R_{p1}/\%$	$R_{p2}/\%$
图8a	57.3	75.7	86.0	33.3	11.9
图8b	47.0	67.0	86.0	45.3	22.0

表1中: P'_1 是采用两级动态调光算法的样机功率; P'_2 是采用S曲线全局调光算法的样机功率; P 为不采用调光的样机功率; R_{p1} 、 R_{p2} 则分别为对应算法的样机节能率。

将6类常见的电视节目(公益宣传片、电视剧、动画片、体育节目、综艺节目、脱口秀)每段5 min,合成一个30 min的视频在工程样机上进行了测试。采用两级动态调光算法的样机能耗为0.031 80 kW·h、采

用S曲线全局调光算法的样机能耗为0.036 12 kW·h、不调光的样机能耗为0.042 50 kW·h。两种调光算法的样机能耗分别降低了25.2%和15.0%。视频显示正常,没有抖动、拖尾等人眼可感知的问题。

5 结束语

针对液晶显示对比度和能效不高的问题,提出了在现有S曲线全局调光算法中增加线性放大的两级动态调光算法。进行了软件仿真并开发了工程样机,仿真和工程样机测试结果表明:采用两级动态调光算法的电视平均整机能耗降低了25.2%,平均静态对比度提高了30%。与基于S曲线全局调光算法相比,节能率提高了10%,静态对比度基本保持不变。两级动态调光算法在保证S曲线全局调光算法显示质量的同时达到了进一步节能的效果。

参考文献

- [1] LAI C C, TSAI C C. Backlight power reduction and image contrast enhancement using adaptive dimming for global backlight applications [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2008, 54(2):669-674.
- [2] 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.
- [3] KANG S J, KIM Y H. Image integrity-based gray-level error control for low power liquid crystal displays [J]. IEEE Transactions on Consumer Electron, 2009, 55(4):2401-2406.
- [4] 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.)
- [5] 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.)
- [6] 向艳,冯奇斌,吕国强.侧出LED背光动态调光算法研究[J].液晶与显示,2014,29(2):293-297. (XIANG Y, FENG Q B, LYU G Q. Dynamic dimming algorithm in side-lit LED backlights [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2014, 29(2):293-297.)
- [7] REMCO M J, LANGENDIJK E, VOSSSEN F. Spatio-temporally consistent video processing for local backlight dimming [J]. SID Digest, 2008, 39(1):979-982.

(下转第106页)

- [3] LI S Y, GE Z M. Fuzzy modeling and synchronization of two totally different chaotic systems via novel fuzzy model [J]. IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics, 2011, 41(4):1015-1026.
- [4] YANG X, GAO J, LU J. Synchronization of Markovian coupled neural networks with nonidentical node-delays and random coupling strengths[J]. IEEE Transactions on Neural Networks Learning Systems, 2012, 23(1):60-71.
- [5] YAHYAZADEH M, NOEI A R, GHADERI R. Synchronization of chaotic systems with known and unknown parameters using a modified active sliding mode control[J]. ISA Transactions, 2011, 50(2):262-267.
- [6] FENG X, ZHANG F, WANG W. Global exponential synchronization of delayed fuzzy cellular neural networks with impulsive effects [J]. Chaos Solitons Fractals, 2011, 44(1/2/3):9-16.
- [7] LU J, HO D W C, GAO J, et al. Exponential synchronization of linearly coupled neural networks with impulsive disturbances[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2011, 22(2):329-335.
- [8] HE W, QIAN F, HAN Q L, et al. Synchronization error estimation and controller design for delayed Lur'e systems with parameter mismatches[J]. IEEE Transactions on Neural Networks Learning Systems, 2012, 23(10):1551-1563.
- [9] ZHOU W, TONG D, GAO Y, et al. Mode and delay-dependent adaptive exponential synchronization in p th moment for stochastic delayed neural networks with Markovian switching[J]. IEEE Transactions on Neural Networks Learning Systems, 2012, 23(4):662-668.
- [10] WU Z G, SHI P, SU H, et al. Exponential synchronization of neural networks with discrete and distributed delays under time varying sampling[J]. IEEE Transactions on Neural Networks Learning Systems, 2012, 23(9):1368-1376.
- [11] CHEN M Y, ZHOU D H, SHANG Y. A new observer-based synchronization scheme for private communication [J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2005, 24(4):1025-1030.
- [12] BERNARDO M D. An adaptive approach to the control and synchronization of continuous chaotic systems[J]. International Journal of Bifurcation and Chaos, 1996, 6(3):557-568.
- [13] NIJMEIJER H, MAREELS I M Y. An observer looks at synchronization[J]. IEEE Transactions on Circuits Systems I, 1997, 44(10):882-890.
- [14] LIU F, REN Y, SHAN X M, et al. A linear feedback synchronization theorem for a class of chaotic systems[J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2002, 13(4):723-730.
- [15] 姚利娜, 高金峰, 廖旋焕. 实现混沌系统同步的非线性状态观测器方法[J]. 物理学报, 2006, 55(1):35-41. (YAO L N, GAO J F, LIAO N H. Synchronization of a class of chaotic systems using nonlinear observers[J]. Acta Physica Sinica, 2006, 55(1):35-41.)
- [16] 俞立. 鲁棒控制——线性矩阵不等式方法[M]. 北京:清华大学出版社, 2002:88-89. (YU L. Robust control—linear matrix inequality method [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002:88-89.)

(上接第 84 页)

- [8] SEETZEN H, HEIDRICH W, STUERZLINGER W, et al. High dynamic range display systems[C]//ACM Transactions on Graphics, 2004:760-768.
- [9] 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]. SID Digest, 2007, 38(1):1343-1346.
- [10] FUNAMOTO T, KOBAYASHI T, MURAO T. High-picture-quality technique for LCD television; LCD-AI[C]//Proceedings of International Display Workshop, 2000:1157-1158.

(上接第 101 页)

- L L, GUO J Y, HAN Y B, et al. Digital zenith telescope prototype of China[J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(12):1094-1099.)
- [3] 王博, 田立丽, 王政, 等. 数字化天顶望远镜观测图像及数据处理[J]. 科学通报, 2014, 59(12):1100-1107. (WANG B, TIAN L L, WANG Z, et al. The image and data processing in digital zenith camera[J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(12):1100-1107.)
- [4] SCHOEBEL R, HEIN G W, EISSL B. Renaissance of astrogeodetic leveling using GPS/CCD zenith camera [C]//Proceeding of the IAIN World Congress in Association with the US. ION Annual Meeting, 2000:26-28.
- [5] HIRT C, BEAT B, ANNA S. Modern determination of vertical deflections using digital zenith cameras[J]. Journal of Surveying Engineering, 2010, 1(1):1-12.
- [6] 曾志雄, 胡晓东, 高立民. 天顶摄影仪轴系误差对垂线偏差测量精度的影响及其修正方法[J]. 光学精密工程, 2004, 12(1):6-10. (ZENG Z X, HU X D, GAO L M. Effect of digital zenith camera axis error on measurement precision of vertical deflection and its correction[J]. Optics and Precision Engineering, 2004, 12(1):6-10.)
- [7] 孙荣煜, 赵长印, 侯永刚. 加权最小二乘在精密天文定位中的应用[C]//第四届中国卫星导航学术年会, 武汉, 2013:87-90. (SUN R Y, ZHAO C Y, HOU Y G. Using weighted least square method for high precision astronomical calibration [C]//The 4th China Satellite Navigation Conference, Wuhan, 2013:87-90.)