

文章编号:1007-2780(2009)05-0762-07

LCD 显示器阶调复现曲线的函数表达

何国兴

(东华大学 应用物理系, 上海 200051, E-mail: gxhe@dhu.edu.cn)

摘 要: 通过对 S-shape 和 S-curve 函数曲线的分析, 提出了 LCD 显示器阶调复现曲线的 S-form 函数表达。实验采用 X-Rite Monitor Optimizer 测量了两台 LCD 显示器和一台 CRT 显示器的阶调复现曲线, 并分别用 S-shape, S-curve 和 S-form 函数进行了拟合, 结果表明: S-form 函数拟合阶调复现测量曲线优于 S-shape 和 S-curve 函数; S-form 函数不仅适用于 LCD 显示器, 也适用于 CRT 显示器。

关 键 词: LCD 显示器; 阶调复现曲线; 拟合

中图分类号: O432.3; TN911.73

文献标识码: A

1 引 言

随着数字图像技术的飞速发展, 计算机控制的彩色显示器因控制方便灵活, 成为用来传达颜色信息的重要设备。但不同类型、不同品牌、不同型号显示器的颜色显示性能不同, 有些甚至差别很大。为了准确再现颜色, 必须对彩色显示器颜色特性化进行定量描述。因此, 颜色研究者先后提出了数值型 (PLCC、PLVC、3D-LUT、BP 神经网络、Masking、TPC、分段分空间和色度比等) 和函数型 (GOG、S-shape 和 S-curve 等) 显示器颜色特性化模型^[1-17]。数值型模型虽然颜色预测精度可达到很高, 但缺点是需要大量训练样本和大量颜色特性化表征量; 而函数型模型虽然可克服这一不足, 但由于函数型模型过于简化, 颜色预测精度较低。研究发现, LCD 显示器各通道阶调复现曲线 (TPC) 呈不同的 S 形, S-shape 和 S-curve 模型中 S 形函数拟合阶调复现曲线存在较大误差, 从而影响其预测精度。研究发现, S-shape 和 S-curve 模型存在阶调复现曲线拟合程度不好的原因是采用的 S 形函数性质所决定的, 它们不能适应各种阶调复现曲线的不同 S 形状。另外, 有文献^[12, 13]报道, 有些 LCD 显示器的阶调复现曲线已通过集成电路转换成与 CRT 显示器阶调复现曲线相似的形状, 因此, 用 GOG 模型的预测精度

反而比 S-curve 模型更好^[13]。同时, 研究中也发现, 根据阶调复现曲线的要求, S 形函数中的几个参数并非独立, 目前的研究者都没有提出此问题, 此问题同样出现在 GOG 模型上。GOG 模型中的阶调复现函数的独立参数并非 3 个, 实际上只有 1 个。正是利用此研究结果我们已提出了 SP 模型^[18]。由于在显示器颜色特性化前无法判断显示器阶调复现曲线是 S 形、 γ 幂形还是其它, 因此, 提出既适应各种不同形状的阶调复现曲线, 拟合程度又高的 S 形函数成为建立函数型模型的重要课题之一。本文通过对 S-shape 和 S-curve 模型中 S 形函数曲线的形状分析, 提出了 LCD 显示器阶调复现曲线的 S-form 函数表达, 实验结果表明: 与 S-shape 和 S-curve 模型的 S 形函数相比, S-form 函数的拟合程度更好, 适应性更广。

2 显示器阶调复现曲线的函数表达

目前显示器阶调复现曲线的函数表达式仅有 GOG、S-shape 和 S-curve 等 3 个模型函数, 其中 GOG 函数表达式是针对 CRT 显示器而提出的; 而 S-shape 和 S-curve 函数表达式则适用于 LCD 显示器。一般认为 S-shape 和 S-curve 函数表达式有 4 个参数, 能拟合不同 S 形阶调复现曲线; 但事实并非如此。下面分别对 S-shape 和 S-curve 函数表达式进行形状分析。

2.1 S-shape 和 S-curve 模型函数形状的分析

2.1.1 S-shape 函数曲线形状分析

1998 年 Balogh^[10] 提出了表达 LCD 显示器阶调复现曲线的 S-shape 函数:

$$Q=A\{1+\tanh[B(d/255-C)]\}+D \quad (1)$$

其中 $Q \in \{Q_{pt}\}$, $Q_{pt} = T_p/T_{p,max}$, $T \in \{X, Y, Z\}$, $P \in \{R, G, B\}$, d 为通道的驱动参量, A, B, C 和 D 为 S-shape 函数参数。

2006 年王勇^[19] 给出了式 (1) 的另一表达式:

$$Q=a/\{1+\exp[-k(d/255-b)]\}-c \quad (2)$$

其中 k, a, b 和 c 为函数参数。扣除“黑点”(暗场)的影响,则式 (1) 和式 (2) 在拟合阶调复现曲线时需要满足两个基本条件:(1) 当 $d=0$ 时, $Q=0$;(2) 当 $d_{max}=225$ 时, $Q=1$ 。由此条件,参数 a, c (或 A, D) 就确定了。因此,对 S-shape 函数曲线形状影响的独立参数只有 2 个: (k, b) 或 (B, C) 。不同参数的 S-shape 函数曲线形状见图 1, 参数 b 决定了图 1 中不同形状曲线拐点(交点)的 d 值,而参数 k 同时决定了拐点左右曲线的 S 形弯曲程度,因此, S-shape 函数能表达的 S 曲线形状受到较大限制。例如,不同显示器的阶调复现曲线可能在拐点左侧曲线的 S 形基本相同而在拐点右侧曲线的 S 形不同,这样 S-shape 函数就难以准确描述。

图 1 不同参数的 S-shape 函数曲线

Fig. 1 Curves of S-shape function with different parameters

2.1.2 S-curve 函数曲线形状分析

2001 年, Kwak^[11] 提出了表达 LCD 显示器阶调复现曲线的 S-curve 函数:

$$Q=A_1(d/255)^{\alpha}/[(d/255)^{\beta}+C_1] \quad (3)$$

其中 A_1, a, b 和 C_1 为 S-curve 函数参数。式 (3) 在拟合阶调复现曲线时除需要满足两条基本条件外, 还需满足 $d_m \geq 255$ (d_m 为 Q 最大时对应的 d 值), 这就要求参数之间满足 $A_1=C_1+1$, 且 $C_1 \geq \beta/\alpha-1$, 因此, 对 S-curve 函数曲线形状影响的独立参数有 3 个 (α, β, C_1)。许多实际阶调复现曲线近似满足参数 $C_1=\beta/\alpha-1$ 的情况(即 $d_m=255$), 不同 α, β 参数的 S-curve 函数曲线形状见图 2。图 2 表明曲线拐点左右 S 形弯曲程度密切相关, 当拐点左侧曲线拟合较好时, 拐点右侧曲线则可能拟合较差。因此, S-curve 函数能表达的 S 曲线形状也受到较大限制。

图 2 不同参数的 S-curve 函数曲线

Fig. 2 Curves of S-curve function with different parameters

2.1.3 阶调复现曲线的 S-form 函数表达

为了克服 S-shape 和 S-curve 函数的不足, 我们提出了 LCD 显示器阶调复现曲线的 S-form 函数表达:

$$Q=A_2/\{\exp[k_1(d/255-B_2)]+\exp[-k_2(d/255-B_2)]\}-C_2 \quad (4)$$

其中 k_1, k_2, A_2, B_2 和 C_2 为 S-form 函数参数。式 (4) 在拟合阶调复现曲线时除需要满足两条基本条件外, 还需满足 $d_m \geq 255$ (d_m 为 Q 最大时对应的 d 值), 这就要求参数之间满足 $B_2 \geq 1-\ln(k_2/k_1)/(k_1+k_2)$, 因此, 对 S-form 函数曲线形状影响的独立参数有 3 个 (k_1, k_2, B_2)。不同参数的 S-form 函数曲线形状见图 3, 通过图 3 与图 1 和图 2 比较可知, S-form 函数拐点左右曲线的 S 形弯曲程度可各自随参数而变, 因此, 能表达更多不同 S 形状的曲线而较好拟合不同 LCD 显示器阶调复现曲线。

3 实验结果与讨论

实验中选用 Dell E176FP 显示器(LCD₁)、联想笔记本 SOLEIL V22 显示屏(LCD₂)和联想 F574D 显示器(CRT) 3 台显示器,显示器的色温都调整到 6 500 K,使用 X-Rite 公司的 Monitor Optimizer DTP 92Q 在暗室中测量各台显示器屏幕中央显示的三刺激值(X,Y,Z)。每个通道缓冲器的驱动参量在 0~255 之间按 16 个单位量增值,即 $d = 0,16,32,\cdots,255$,分别测得 3 台显示器 R,G,B 各通道的阶调复现曲线。

LCD₁ 显示器 R、G、B 通道阶调复现测量曲线见图 4。测量结果表明,LCD1 显示器每个通道的 X,Y,Z 阶调复现曲线是不相同的,说明 LCD₁ 显示器存在色品非恒定性。

采用 S-shape,S-curve 和 S-form 等函数拟合的 R,G,B 通道阶调复现曲线分别见图 5~7,S 形函数非线性拟合 LCD₁ 显示器阶调复现曲线的平均剩余残差平方和(Chi^2/DoF)和相关系数的平方

图 3 不同参数的 S-form 函数曲线

Fig. 3 Curves of S-form function with different parameters

图 4 LCD₁ 的 TRC 测量曲线.(a) R 通道;(b) G 通道;(c) B 通道.

Fig. 4 TRC measured curves of LCD₁. (a) R channel;(b) G channel;(c) B channel.

图 5 LCD₁ 显示器 R 通道阶调复现拟合曲线.(a) $Q_{rx}-d_r$ 曲线;(b) $Q_{ry}-d_r$ 曲线;(c) $Q_{rz}-d_r$ 曲线.
Fig. 5 R channel's TRC fitted curves of LCD₁. (a) $Q_{rx}-d_r$ curve; (b) $Q_{ry}-d_r$ curve; (c) $Q_{rz}-d_r$ curve.

图 6 LCD₁ 显示器 G 通道阶调复现拟合曲线. (a) $Q_{gx}-d_g$ 曲线; (b) $Q_{gy}-d_g$ 曲线; (c) $Q_{gz}-d_g$ 曲线.
Fig. 6 G channel's TRC fitted curves of LCD₁. (a) $Q_{gx}-d_g$ curve; (b) $Q_{gy}-d_g$ curve; (c) $Q_{gz}-d_g$ curve.

图 7 LCD₁ 显示器 B 通道阶调复现拟合曲线. (a) $Q_{bx}-d_b$ 曲线; (b) $Q_{by}-d_b$ 曲线; (c) $Q_{bz}-d_b$ 曲线.
Fig. 7 B channel's TRC fitted curves of LCD₁. (a) $Q_{bx}-d_b$ curve; (b) $Q_{by}-d_b$ curve; (c) $Q_{bz}-d_b$ curve.

表 1 S 形函数拟合 LCD₁ 显示器的 Chi²/DoF 和 R²
Table 1 Chi²/DoF and R² of LCD₁'s TRC fitted by S-shape function

阶调复现曲线		(Chi ² /DoF) × 10 ⁻⁴			R ² (%)		
		S-shape	S-curve	S-form	S-shape	S-curve	S-form
R 通道	Q_{rx}	14.76	11.83	4.66	99.29	99.42	99.75
	Q_{ry}	15.24	8.84	6.17	99.17	99.57	99.67
	Q_{rz}	17.38	12.22	7.88	99.00	99.31	99.53
G 通道	Q_{gx}	10.48	5.45	2.06	99.40	99.67	99.87
	Q_{gy}	9.96	6.08	3.80	99.47	99.65	99.79
	Q_{gz}	6.64	2.62	2.58	99.64	99.85	99.87
B 通道	Q_{bx}	3.31	2.17	1.88	99.82	99.85	99.88
	Q_{by}	5.01	3.49	1.73	99.78	99.77	99.88
	Q_{bz}	3.35	2.10	1.14	99.83	99.88	99.94

(R^2)见表 1,结果表明 S-form 函数拟合阶调复现曲线程度明显优于 S-shape 和 S-curve 函数。

CRT 显示器 R、G、B 通道阶调复现测量曲线和 S-form 函数拟合曲线见图 8,测量结果表明: CRT 显示器每个通道的 X、Y、Z 阶调复现曲线重

合程度相当好,说明 CRT 显示器具有较好的色品恒定性。S-form 函数拟合 CRT 显示器 TRC 的 Chi²/DoF 和 R² 见表 2,结果表明 S-form 函数也能很好地拟合 CRT 显示器 γ 幂形的阶调复现曲线。

LCD₂ 显示器 R,G,B 通道阶调复现测量曲线和 S-form 函数拟合理论曲线见图 9。测量结果表明 LCD₂ 显示器阶调复现曲线已通过集成电路转换成与 CRT 显示器阶调复现曲线相似的形状,但每个通道的 X,Y,Z 阶调复现曲线差别依然

较大,说明 LCD₂ 显示器仍具有通道色品非恒定性。S-form 函数拟合 LCD₂ 显示器 TRC 的 Chi²/DoF 和 R² 见表 3,结果表明 S-form 函数同样能很好地拟合已进行转换的 LCD 显示器阶调复现曲线。

图 8 CRT 显示器的 TRC 测量与拟合曲线。(a) Q_r-d_r 曲线;(b) Q_g-d_g 曲线;(c) Q_b-d_b 曲线。
Fig. 8 TRC measured and fitted curves of CRT. (a) Q_r-d_r curve;(b) Q_g-d_g curve;(c) Q_b-d_b curve.

图 9 LCD₂ 显示器的 TRC 测量与拟合曲线。(a) R 通道 TRCs;(b) G 通道 TRCs;(c) B 通道 TRCs。
Fig. 9 TRC measured and fitted curves of LCD₂. (a) TRCs of R channel;(b) TRCs of G channel;(c) TRCs of B channel.

表 2 S-form 函数拟合 CRT 显示器 TRC 的 Chi₂/DoF 和 R²
Table 2 Chi²/DoF and R² of CRT's TRC fitted by the S-form function

阶调复现曲线		S-form	
		(Chi ² /DoF)×10 ⁻⁴	R ² (%)
R 通道	Q_{rx}	1.28	99.92
	Q_{ry}	1.29	99.92
	Q_{rz}	1.81	99.91
G 通道	Q_{gx}	0.79	99.96
	Q_{gy}	0.83	99.95
	Q_{gz}	0.42	99.98
B 通道	Q_{bx}	0.64	99.96
	Q_{by}	0.58	99.96
	Q_{bz}	0.64	99.96

表 3 S-form 函数拟合 LCD₂ 显示器 TRC 的 Chi²/DoF 和 R²
Table 3 Chi²/DoF and R² of LCD2's TRC fitted by the S-form function

阶调复现曲线		S-form	
		(Chi ² /DoF)×10 ⁻⁴	R ² (%)
R 通道	Q_{rx}	3.04	99.79
	Q_{ry}	1.89	99.87
	Q_{rz}	1.82	99.89
G 通道	Q_{gx}	2.06	99.84
	Q_{gy}	1.42	99.90
	Q_{gz}	1.38	99.91
B 通道	Q_{bx}	0.89	99.93
	Q_{by}	1.61	99.90
	Q_{bz}	1.24	99.93

4 结 论

为了克服 S-shape 和 S-curve 函数的不足,提出了 LCD 显示器阶调复现曲线的 S-form 函数表

达。与 S-shape 和 S-curve 函数相比,S-form 函数具有更好的拟合程度,不仅适用于各种 LCD 显示器,同样也适用于 CRT 显示器。

参 考 文 献:

- [1] Post D L, Calhoun C S. An evaluation of methods for producing desired colors on CRT monitors [J]. *Color Res. Appl.*, 1989, 14(3):172-186.
- [2] Farley W W, Gutmann J C. Digital image processing systems and an approach to the display of colors of specified chrominance [R]. *Technical report HFL-80-2/ONR-80*, Blacksburg, VA:Virginia Polytechnic Institute and State University,1980.
- [3] Hung Po-Chieh. Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table model and interpolations [J]. *J. Electronic Imaging*, 1993, 2(1):53-61.
- [4] Chang Po-Rong, Tai Chih-Chiang, Yeh Bao-Fuh. Model-reference color reproduction for video system [C]//*Device-Independent Color Imaging, Proceedings of SPIE* 2170, California, USA:SPIE,1994:812-190.
- [5] Tamura N, Tsumura N, Miyake Y. Masking model for accurate colorimetric characterization of LCD [J]. *J. Soc. Information Display*, 2003,11(2):333-339.
- [6] Wen S, Wu R. Two-primary crosstalk model for characterizing liquid crystal displays [J]. *Color. Res. Appl.*, 2006, 31(2):102-108.
- [7] 张显斗,徐海松. 液晶显示器颜色特征化的分段分空间模型 [J]. *光学学报*, 2007, 27(9):1719-1724.
- [8] 徐艳芳,黄敏,金杨. 基于色度比特性的显示器色度特性化 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(6):771-777.
- [9] Berns R S, Motta R J, Gorzynski M E. CRT colorimetry, Part I: Theory and practice [J]. *Color Res. Appl.*, 1993, 18(5):299-325.
- [10] Balogh P, Schanda J. Colorimetric characterisation of LCD displays [C]//*V. Internat. Symp. Color and Colorimetry*, Slovenia:Brdo pri Kranju, 1998.
- [11] Kwak Y, MacDonald L W. Accurate prediction of colours on liquid crystal displays [C]//*Proc. IS&T/SID Ninth Color Imaging Conf.*, Scattsdale:SID, 2001:355-359.
- [12] Fairchild M, Wyble D. Colorimetric characterization of the Apple Studio display (flat panel LCD) [R]. Rochester, NY:Munsell Color Science Laboratory, Center for Imaging Science Rochester, Institute of Technology,1998.
- [13] Tamura N, Tsumura N, Miyake Y. Masking model for accurate colorimetric characterization of LCD [J]. *J. Soc. Information Display*, 2003, 11(2):333-339.
- [14] 许宝卉,李言,薛红. 基于色彩管理的 CRT 色彩空间转换方法的研究 [J]. *液晶与显示*, 2007, 22(3):351-354.
- [15] 许宝卉,柴春吉. 基于色彩管理的 CRT 色彩特性分析 [J]. *液晶与显示*, 2007, 22(5):598-602.
- [16] 黎新伍. 基于 BP 神经网络的 CRT 显示器色彩管理新模型 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(2):235-240.
- [17] 何军锋,姚军财,谭毅. 小范围内 CRT 显示器色彩空间转换方法研究 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(3):347-351.
- [18] 何国兴. CRT 显示器色度校正的单参数模型 [J]. *液晶与显示*, 2007, 22(4):448-453.
- [19] Wang Yong, Xu Haisong. Colorimetric characterization of liquid crystal display using an improved two-stage model [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, 4(7):432-434.

Functional Representation of LCD Tone Reproduction Curves

HE Guo-xing

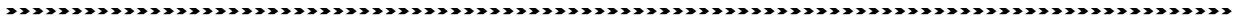
(Department of Applied Physics, Dong Hua University, Shanghai 200051, China, E-mail: gxhe@dhu.edu.cn)

Abstract

A S-form functional representation of tone reproduction curve of liquid crystal displays was proposed by analyzing on the S-shape function and the S-curve function. In the experiments, tone reproduction curves (TRCs) of two LCD displays and a CRT display were measured by X-Rite Monitor Optimizer, and were fitted by the S-shape function, the S-curve function and the S-form function. Experimental results showed that S-form function fit the measured TRCs better than S-shape function and S-curve function, and that the S-form function is applicable to not only LCD displays but also CRT displays.

Key words: LCD display; tone reproduction curve; fitting

作者简介:何国兴(1961—),男,浙江奉化人,硕士,主要从事颜色科学方向的研究。



“2009 液晶科技国际研讨会”在昆明召开

经过一年多的筹备工作,“2009 液晶科技国际研讨会”于 2009 年 8 月 2 日至 5 日在昆明佳路达大酒店召开。此次会议由中国物理学会液晶分会和云南师范大学联合主办,具体会务由云南师范大学黄远明教授组织承办。在会议承办过程中,得到了中国物理学会液晶分会的大力支持。

本次研讨会旨在为国内外液晶研究领域的同行搭建一个较好的交流平台,以达到广泛交流共同进步的目的,并将液晶科技引进我国的西南边陲云南省。应黄远明教授的邀请,来自中国、美国、英国、法国、韩国、日本、印度,奥地利等十余个国家和地区 60 余所高校和研究室的学者 120 余人参加了此次“2009 液晶科技国际研讨会”。其中包括美国肯特州立大学液晶研究所的 Deng-Ke Yang 教授及 Liang-Chy Chien 教授、英国埃克塞特大学的 Fuzi Yang 教授、日本液晶学会会长 Shimizu 博士、韩国首尔国立大学的 Sin-Doo Lee 教授(第 22 届国际液晶会议的主席)以及延世大学的 Myongsoo Lee 教授、法国斯特拉斯堡物理和化学材料研究所的 Daniel Guillon 博士(第 10 届欧洲液晶会议主席)及皮耶尔居里大学的 Andre-Jean Attias 教授、印度液晶研究中心的 S. Krishna Prasad 博士、奥地利维也纳大学的 Romano A. Rupp 教授,等一批在国际液晶领域具有重要影响力的科学家出席了此次会议并作了精彩纷呈的学术报告。

在会议开幕式上,云南师范大学副校长何伟全先生向全体与会人员发表了简短而热情洋溢的欢迎辞,云南日报、云南信息报,都市时报,生活新报等昆明的新闻媒体分别对会议做了较为详细的报道。

此次会议从 226 篇摘要中录用了 180 篇论文,经审稿后所收录的论文将于 2009 年 11 月 30 日之前均由欧洲学术期刊 Key Engineering Materials 刊出,所有论文均为 EI 收录。