

# 液晶显示器颜色特征化的 S 模型算法

王 勇 徐海松

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

**摘 要** 基于对液晶显示器的呈色机理的分析, 提出了一种新颖的 S-shape 模型, 并用其代替 GOG(增益-偏置-伽马)模型来实现液晶显示器阶调复现曲线的精确拟合及液晶显示器颜色特征化精度的提高。为了检验改进算法的精度, 分别用 GOG 模型和 S 模型来建立同一台液晶显示器的颜色空间变换, 作为 LCD 颜色特征化的参照, GOG 模型被用于来建立阴极射线管显示器的颜色特征化模型, 并在设备的相关颜色空间, 通过均匀取样选取  $7 \times 7 \times 7$  组颜色数据来检验这 3 种颜色空间映射实例的精度。实验结果表明, 对于液晶显示器而言, 基于 S 模型的颜色映射精度比 GOG 模型有明显提高, 其平均色差/最大色差分别为 1.825/4.731 个 CIEDE2000 色差单位, 与 GOG 模型应用于阴极射线管显示器的颜色特征化的精度相当。

**关键词** 液晶显示器 颜色特征化 S-shape 模型 增益-偏置-伽马模型

中图法分类号: TN873.938.01 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)03-0491-04

## The S Shape Model for LCD Colorimetric Characterization

WANG Yong, XU Hai-song

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

**Abstract** A novel S shape model was proposed to fit accurately the tone reproduction curves of liquid crystal display (LCD) instead of the well-known gain-offset-gamma (GOG) model based on the analysis of its color producing mechanism, which was used to improve the accuracy of its characterization. In order to testify the accuracy of the model proposed, the color space conversion for the same LCD was established by GOG model and S model respectively. For comparison, the color characterization of a cathode ray tube (CRT) display was also performed using GOG model. The  $7 \times 7 \times 7$  RGB triplets, uniformly distributed in device color space, were chosen to evaluate the accuracy of these three color space mapping instances. The experimental results showed that, with the S shape model, the accuracy of LCD colorimetric characterization was obviously improved, which average/maximum color difference reached 1.825/4.731 CIEDE2000 units, in comparison with GOG model, and was approximately equal to the accuracy when the GOG model was applied to the CRT display characterization.

**Keywords** liquid crystal display(LCD), colorimetric characterization, S shape model, gain-offset-gamma(GOG) model

## 1 引 言

由于 LCD(liquid crystal display)液晶显示器相对于传统的 CRT(cathode ray tube)显示器具有体积小、功耗低、无辐射等优点, 且在保证显示空间均匀

性和图像质量的同时, 还可以超越 CRT 的显示尺寸, 实现超大尺寸的屏幕显示, 因此越来越多被应用于彩色图像的显示。可以预见, 在不久的将来, LCD 将取代 CRT 成为主要的计算机显示单元。因此, LCD 的颜色管理, 即精确控制 LCD 的颜色显示, 已成为当前一个重要的研究课题<sup>[1-3]</sup>。显示设备的颜

基金项目: 国家自然科学基金项目(60578011)

收稿日期: 2005-09-06; 改回日期: 2006-01-25

第一作者简介: 王勇(1976~), 男, 1997 年于浙江大学获工学学士学位, 现为浙江大学在读博士研究生。主要研究数字图像设备颜色管理系统。E-mail: wangyong\_tcc@163.com

色特征化,即建立与设备相关的 RGB 颜色空间到与设备无关的颜色空间的映射关系是颜色管理的基础步骤和关键环节。如今对 CRT 的颜色特征化技术已经有了广泛的研究,CIE(国际照明学会)综合和比较了各方面的研究成果,基于 Berns 教授的研究<sup>[4,5]</sup>,推荐了 GOG (gain-offset-gamma) 模型作为 CRT 的颜色特征化模型。由于 LCD 的呈色机理与 CRT 不同,因此 GOG 模型是否适用于 LCD 的颜色特征化,以及如何实现 LCD 的精确颜色特征化是本文研究的目的。

液晶显示器的每个像素单元包括颜色滤光片、一对玻璃基板上的透明电极、一对线性偏光器和沉积排列在中间的液晶材料。液晶材料具有规则的分子排列和液体的流动性,但当受到外界电场作用时,排列会发生变化,并具有电光效应特性。由于液晶分子具有电介质各向异性的特性,因此按规律排列的液晶分子可使得入射的线性偏振光的偏振面产生旋转。液晶显示器的显示机理是在没有电磁场作用时,入射的背光经过入射偏光器起偏,穿过液晶分子,当偏转面旋转后,再经出射偏光器出射,此时像素为亮状态;而在电磁场作用下,由于液晶分子排列发生变化,此时入射的背光不能穿过液晶分子出射,因此像素为暗状态。在不同电磁场强度作用下,液晶分子的光透过率不同,即形成不同的灰级。这样在光的出射侧放置 R(红)、G(绿)、B(蓝)滤光片,并按一定规律排列,使相邻的 3 个 RGB 像素组成一个彩色像素,即可实现液晶显示器的彩色显示。

## 2 实验设备

实验中,选用 IBM 的 14.1inch LCD 液晶显示器,测试色样由程序生成,使其充满整个屏幕。实验条件为采用 PR-650 分光辐射计在暗室中对 LCD 显示色样进行测量,测试角垂直于显示平面,采样时间设为自动,测试数据由随设备提供的软件记录。测试前,LCD 经过半小时预热,测试时,每个色样显示改变后都要稳定数秒,以避免由显示稳定性造成的测试误差。

实验数据采集包括以下两部分:(1)单通道激励数据,其值从 0 到 255,间隔为 5,R、G、B 每个通道各选取 52 个点,用于测量单通道激励时的三刺激值,这部分数据可以用来得到每个通道的阶调复现

曲线(tone reproduction curve, TRC);(2)混合激励数据的获得,先在每个通道选择 0、12、81、195、221、250、255 为激励值,共得到  $7 \times 7 \times 7$  组色样,再进行测量,并记录测试结果,用于特征化模型的检验。

为了比较 CRT 和 LCD 颜色特性和颜色特征化方法的差别,本文选用 Neso FD570A 型 CRT 显示器作为参照,并进行了相应的测试。

## 3 LCD 颜色特征化

LCD 和 CRT 类似,属于加混色设备,由 CRT 颜色特征化理论知,当设备满足通道独立性和色品恒定性条件时,设备的颜色特征化可以分为以下两步:(1)首先建立各通道的归一化数字激励值与三原色标量间的映射,以得到 TRC 函数;(2)建立设备的特征矩阵,以实现三原色标量到 CIE 三刺激值的线性变换。

### 3.1 TRC 函数

从单通道激励数据得到的各通道的 TRC 曲线如图 1 所示。从图中可以看出,LCD 和 CRT 的阶调复现曲线有明显的差别,LCD 的曲线呈 S 形,且各通道曲线间有较大差异;而 CRT 的三原色变量和归一化数字激励值间则具有伽玛函数关系,且各通道曲线比较一致。由于这与两种显示设备的呈色机理是吻合的,即液晶面板光透过率与驱动电压间的 S 形函数关系形成了 LCD 的 S 形阶调复现曲线,而阴极射线管的电子束电流与驱动电压间的伽玛函数关系也体现在 CRT 的 TRC 曲线上,因此,一种新的如式(1)所示的 S-shape 模型(简称 S 模型)被提出来用于描述 LCD 的三原色标量与数字输入激励值间的 S 形函数关系。式中, $R$  表示红原色标量, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $k$  为模型参数, $d_r$  为红通道数字输入激励值,绿、蓝通道可以作类似定义。作为对比,如式(2)所示的 GOG 模型也被用来拟合 LCD 和 CRT 的 TRC 曲线,式中, $k_g$ (下角  $g$  代表 gain)、 $k_o$ (下角  $o$  代表 offset)、 $\gamma$  分别为模型的增益、偏置和伽马参数, $k_g + k_o = 1$ 。分别用 S 模型和 GOG 模型拟合 LCD 和 CRT 的 TRC 曲线,即可得到如图 1 所示的拟合结果,图 1 中横坐标为单通道激励归一化值,纵坐标为相应各通道原色标量。可见,S 模型用于 LCD 的阶调曲线的非线性拟合,拟合误差明显小于 GOG 模型,尤其是蓝色通道,而 GOG 模型用于 CRT 的阶调曲线的非线性拟合,则精度是非常高的。

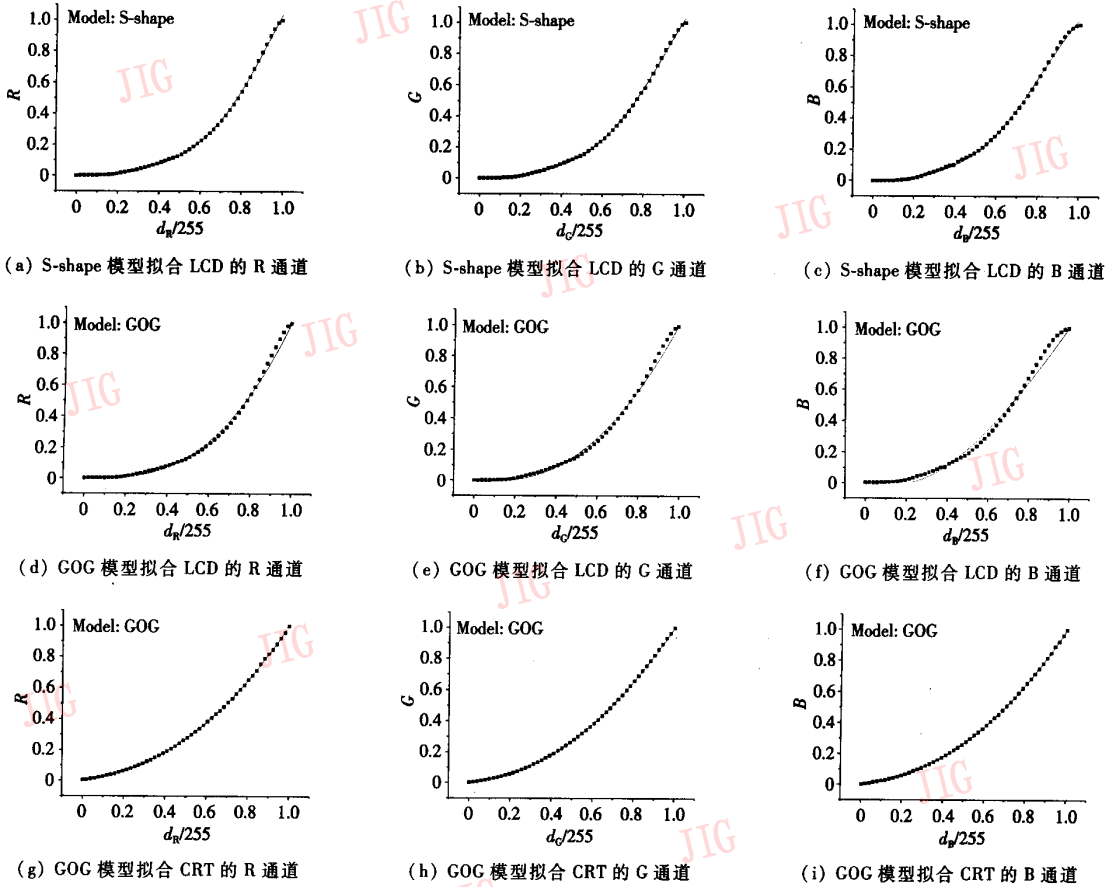


图 1 LCD 和 CRT 的 TRC 拟合曲线

Fig. 1 The TRC fitted curves of LCD and CRT

$$R = \begin{cases} \frac{a}{\left(1 + \exp\left(-k\left(\frac{d_R}{255} - b\right)\right)\right)} - c, & -c > 0 \\ 0, & -c \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$R = \begin{cases} \left[ k_g \left( \frac{d_R}{255} \right) + k_o \right]^\gamma, & k_g \left( \frac{d_R}{255} \right) + k_o > 0 \\ 0, & k_g \left( \frac{d_R}{255} \right) + k_o \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

### 3.2 特征矩阵

建立特征矩阵的基本方法是通过选择各通道的数字输入激励值为 255 时对应的最大输出三刺激值来组成设备的特征矩阵。这是建立在通道独立性和色品恒定性的假设条件下的,但事实上,由于假设条件并不能很好地满足,因此,如果选择一些混合激励数据,并增加特征矩阵的项数,那么通过多元回归方

法来得到特征矩阵,就可能得到更好的模型精度。本文为了比较 LCD 的 S 模型和 GOG 模型 2 种特征化模型的精度,在两种模型特征化过程中都采用了基本的特征矩阵。

### 4 模型评价

由于得到各通道阶调复现函数和特征矩阵,就得到了 LCD 和 CRT 的特征化模型,因此就可以实现 RGB 空间到 XYZ 空间的映射。由于 RGB 空间中均匀采样的  $7 \times 7 \times 7$  (共 343 组)数据基本充满了整个显示器色域,因此可被用来检验颜色特征化模型的精度。由于通过显示器特征化模型可以得到这些与 RGB 数据对应的 CIE 三刺激值预测数据,因此将这些数据与 CIE 三刺激值测试数据进行比较,即可用 CIELAB 和 CIEDE2000 (1:1:1) 色差公式通过计算两组数据的色差来评价模型的精度。其得到的

分析结果示于表 1。

表 1 预测数据和测试数据的色差

Tab. 1 The color difference between the data predicted and measured

色差公式	S 模型(LCD)		GOG 模型(LCD)		GOG 模型(CRT)	
	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值
CIELAB	3.476	9.809	4.239	9.813	3.140	7.528
CIEDE2000	1.825	4.731	2.208	5.628	1.365	5.149

从表中数据可见,GOG 模型应用于 CRT 的颜色特征化精度较好,但是应用于 LCD 时,则精度较差,而 S 模型应用在 LCD 上则较 GOG 模型有明显的改善,无论是平均色差还是最大色差都有所下降。

## 5 结 论

本文在对 LCD 液晶显示器的呈色机理进行分析的基础上,提出了一种新的利用 S 模型拟合 LCD 的 TRC 阶调曲线的方法,并结合基本的特征矩阵,实现了液晶显示器的颜色特征化。作为比较,同时应用 GOG 模型来对 CRT 和 LCD 进行颜色特征描述。由 RGB 空间均匀取样的 343 组数据对特征化

模型进行检验的实验数据表明,GOG 模型不适用于 LCD 的颜色特征化,而 S 模型则能很好地描述 LCD 的三原色标量和数字输入激励值间的非线性映射关系,且基于 S 模型的 LCD 颜色特征化平均误差/最大误差达到 1.825/4.731 个 CIEDE2000 色差单位,与 GOG 模型比较,减小了 0.383/0.897 个 CIEDE2000 色差单位,这相当于 GOG 模型应用于 CRT 的颜色特征化精度。

## 参考文献 (References)

- 1 Sharma G. LCDs versus CRTs color calibration and gamut considerations[J]. Proceedings of the IEEE, 2002, 90(4): 605 ~ 622.
- 2 Fairchild M D, Wyble D. Colorimetric characterization of apple studio display (flat panel LCD) [R]. Rochester, NY, USA: Munsell Color Science Laboratory, 1998.
- 3 Post D, Calhoun C S. An evaluation of methods for producing desired colors on CRT monitors[J]. Color Research and Application, 1989, 14(4): 172 ~ 186.
- 4 Berns R S, Motta R J, Gorzynski M E. CRT Colorimetry, Part I: Theory and Practice [J]. Color Research and Application, 1993, 18(5): 299 ~ 325.
- 5 Berns R S. Methods for characterizing CRT displays [J]. Displays, 1996, 16(4): 173 ~ 181.