

文章编号:1007-2780(2019)02-0194-06

一种新的 RGBW 显示器映射算法研究策略

潘定平*, 吴学忠

(中国电子科技集团公司第三十六研究所, 浙江 嘉兴 314033)

摘要:在分析将 rgb 转换到 RGBW 的映射算法本质和已有几种算法的基础上, 阐述了先决定亮度因子 n 再最大化利用白色子像素的算法研究策略, 并据此提出了一种新算法, 未来还可通过主观实验适当调整新算法的权重因子以获得更好的显示效果。通过 MATLAB 仿真分析证明此算法在具有较优亮度的同时具有最好的白色子像素利用率, 大大降低了能耗, 延长了显示设备的使用寿命。通过本文算法的研究策略不仅有助于优秀新算法的提出, 而且可用于优化已有几种算法的白色子像素利用率, 进而推动 RGBW 显示技术的普及推广。

关键词: RGBW; 映射算法; 亮度因子; 白色子像素利用率; 功耗

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193402.0194

Strategy of RGBW display mapping algorithm

PAN Ding-ping*, WU Xue-zhong

(No.36 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation,
Jiaxing 314033, China)

Abstract: Based on the analysis of the nature of the mapping algorithm of converting rgb to RGBW and several existing algorithms, this paper describes the algorithm research strategy which determines the brightness factor n and then maximizes the use of white sub-pixels, and proposes a new algorithm accordingly. The weight factor of the new algorithm can be adjusted appropriately by subjective experiments in the future to obtain better display effect. The simulation results of MATLAB show that the algorithm has better brightness and the best white sub-pixel utilization, which greatly reduces energy consumption and prolongs the service life of display devices. The research strategy of this algorithm not only contribute to the presentation of excellent new algorithms, but also can be used to optimize the white sub-pixel utilization of several existing algorithms, and promote the popularization of RGBW display technology.

Key words: RGBW; mapping algorithm; brightness factor; white sub-pixel utilization; power consumption

收稿日期: 2018-09-17; 修订日期: 2018-11-20.

* 通信联系人, E-mail: dingping.pan@139.com

1 引言

彩色显示技术无论是在科研、国防还是日常生活方面都起着至关重要的作用,随着科技的进步,其从最初单一的 CRT 显示技术发展到了如今液晶 LCD、有机发光二极管 OLED 和等离子 PDP 等显示技术共存的情况,但无论其显示原理如何更新换代,终究都是采用红绿蓝 RGB 三基色空间融合的方式来显示彩色。

随着人们生活水平的日益提高,对 RGB 显示方式所限制的显示色域和亮度也有了更高的需求。因此能够在保持功耗甚至降低功耗的基础上提高三维显示色域的 RGBW 技术无疑受到了越来越多人的追求^[1-2],该技术就是在原有 RGB 子像素的基础上加入白色子像素,再通过恰当的子像素布局方式来达到高亮度和低功耗的目的,这无疑可以取得更大的动态显示范围而且可使移动显示设备具有更好的户外可视性,通过合适的子像素布局甚至可以提高显示分辨率。但具有如此明显优势的 RGBW 技术始终未被大范围商业化,其很大一部分原因就在于:文字边缘往往会具有较为明显的毛刺感,这一点在手持移动设备上尤为突出;在显示高亮度画面同时,会丢失大量高亮度细节信息;色彩过渡往往会不太自然或者是颜色显示失真。

易知,该技术的发展研究主要围绕以下两个核心问题:一是 rgb 信号到 RGBW 信号的信号映射算法;二是子像素布局方式。而上述不足之处无疑也可通过合适的布局方式和算法进行弥补,甚至将之变为潜在优势。

在子像素布局方面,Clairvoyante 公司、日本显示器、京东方^[3]和创维等企业均已推出了各自具有不同子像素布局方式的 RGBW 显示面板,但始终未取得让人眼前一亮的显示效果,且具有各自不同的缺陷,其很大一部分原因就在于缺乏与布局方式相匹配的优秀映射算法,未能充分发掘出 RGBW 技术基于不同布局方式时的优势。本文主要从映射算法的本质需求出发分析现有几种算法的优劣,再阐述一种新的映射算法研究策略,并据此提出一种新的映射算法, MATLAB 模拟仿真显示取得了较好的效果。

2 映射算法理论研究及算法分析

2.1 映射算法理论研究

真实精确地显示颜色无疑是显示技术的本质需求之一,因此优秀的映射算法首先需要保证映射前后的颜色具有一致的色品坐标,其次则是充分利用白色子像素来适当提升亮度。

本人曾在文献[4]中提出了满足色品不变性的映射算法需满足的普适性等式

$$\begin{bmatrix} L_R + \alpha \times L_W \\ L_G + \beta \times L_W \\ L_B + \gamma \times L_W \end{bmatrix} = n \times \Omega \cdot \begin{bmatrix} L_r \\ L_g \\ L_b \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中, R 、 G 、 B 和 W 表示 RGBW 系统中的红绿蓝白通道; r 、 g 和 b 表示 RGB 系统中的红绿蓝通道; L_R 、 L_G 、 L_B 、 L_W 、 L_r 、 L_g 和 L_b 表示相应通道驱动值对应的归一化线性光强尺度值(伽马变化取 2.2); α 、 β 、 γ 描述了 RGBW 系统中白色子像素和红绿蓝子像素在三刺激值维度的关系;矩阵 Ω 描述了 R 、 G 、 B 通道子像素和 r 、 g 、 b 通道子像素在三刺激值维度的关系;亮度因子 n 则表征了映射算法对颜色亮度的提升程度。 α 、 β 、 γ 和 Ω 是由子像素硬件特性所决定的参数,因此为简化算法表达式及其推导过程,将这些参数取为常数 1 或单位矩阵(后文算法的推导和研究皆满足此假设,感兴趣的读者也可将硬件参数带入本文算法的推导过程),故式(1)可简化为:

$$\begin{bmatrix} L_R + L_W \\ L_G + L_W \\ L_B + L_W \end{bmatrix} = n \times \begin{bmatrix} L_r \\ L_g \\ L_b \end{bmatrix}, \quad (2)$$

易知在 RGB 子像素大小与 rgb 子像素大小一致的基础上, $n=1$ 表示映射算法不具备亮度维度的提升能力。由式(2)可知,为了保证 L_R 、 L_G 和 L_B 均不小于 0 且不大于 1, L_W 必须满足:

$$0 \leq L_W \leq \begin{cases} 0, & \text{if } (L_{\max} = 0) \\ \frac{L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}}, & \text{if } (2L_{\min} < L_{\max}) \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3)$$

式中 $L_{\max} = \max\{L_r, L_g, L_b\}$, $L_{\min} = \min\{L_r, L_g, L_b\}$,将式(3)代入式(2)可知,亮度因子 n 在逻辑上应满足:

$$n \leq \begin{cases} +\infty & , \text{if}(L_{\max} = 0) \\ \frac{1}{L_{\max} - L_{\min}} & , \text{if}(2L_{\min} < L_{\max}) \\ \frac{2}{L_{\max}} & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

2.2 现有算法分析

现有的映射算法及其研究策略基本可分解或归纳为以下两个步骤^[5]:第一,通过初始的 rgb 输入信号得到 W 信号;第二,根据相应规则从初始信号中扣除 W 分量,从而得到 RGB 信号。如最初的映射算法可归纳为以下两种表达方式

$$\begin{cases} L_W = \frac{Y}{255} \\ L_R = \frac{Y + 1.371 \times V}{255} \\ L_G = \frac{Y - 0.698 \times V - 0.336 \times U}{255} \\ L_B = \frac{Y + 1.732 \times U}{255} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} L_W = L_{\min} \\ L_R = L_r \\ L_G = L_g \\ L_B = L_b \end{cases} \quad (6)$$

式中, Y, U, V 是原有 rgb 信号在 YUV 空间的表征值,很明显这两种算法都不满足式(2),故不具备信号转换前后的色品恒定性。

Satoshi 等^[6]在 2001 年提出了一种不改变颜色色调的算法,可表示为:

$$\begin{cases} L_R = \frac{L_r \times (L_W + L_{\max})}{L_{\max}} - L_W \\ L_G = \frac{L_g \times (L_W + L_{\max})}{L_{\max}} - L_W \\ L_B = \frac{L_b \times (L_W + L_{\max})}{L_{\max}} - L_W \end{cases} \quad (7)$$

由于 $L_{\max} = 0$ 即黑色的情况下, $RGBW$ 子像素驱动值显而易见也应为 0,故本文的部分方程未考虑 $L_{\max}$ 为 0 时的特殊情况,后文不再特别说明。式(7)中参数 L_W 有以下 3 种表达方式:

$$L_W = \begin{cases} L_{\min} & , \text{方式一} \\ L_{\min}^2 & , \text{方式二} \\ -L_{\min}^3 + L_{\min}^2 + L_{\min} & , \text{方式三} \end{cases} \quad (8)$$

将与 3 种 L_W 取值方式对应的算法分别称之为算法 a、算法 b 和算法 c,易知这 3 种算法均满足式

(2),即具有色品不变性。

Kwak 等^[7]在 2008 年提出了在 HSV 空间过度进而转换到 $RGBW$ 的映射算法,但该算法运算复杂,且经过分析不满足式(2),色调和饱和度均与原始颜色有一定差距,故不在此详细说明。

Kwon 等^[8]在 2012 年提出了基于 Retinex 理论的映射算法,即认为映射算法在考虑待转换颜色的基础上还需要考虑其周围像素的颜色,虽然这种算法具有较为不错的显示效果,但这需要通过以色差调整亮度因子 n 的方式迭代多次,耗时较长,在算法得以简化之前不具备较大应用价值,在此也不再做详细表述。

3 映射算法研究新策略及其对已有算法的改进

需要注意的是,虽然指定的一种颜色在传统 rgb 显示体系里的组合显示方式唯一,但在 $RGBW$ 显示体系里却有多种组合显示方式,即类似于光的同色异谱原理。因此本文不再遵循传统的映射算法步骤,即不再先计算 W 分量的取值,而是通过先确定亮度因子 n 的方式来确定颜色的整体显示效果,再确定具体的“同色异谱”显示方式。

人眼所感知的自然界颜色基于减色法形成,故自然界的颜色亮度往往随着饱和度的增大而减小,因此为了使颜色显示地更贴近现实, n 应为饱和度 S 的递减函数;而对同一饱和度的一系列颜色而言,为了取得更强的对比度, n 应该是亮度 B 的递增函数。综上所述,亮度因子 n 的表达式为:

$$n = \epsilon(2 - S) + (1 - \epsilon) * (1 + B) \quad (9)$$

式中, $0 \leq \epsilon \leq 1$, 为饱和度的权重因子,将饱和度 S 和亮度 B 的表达式取为:

$$S = \begin{cases} 1 & , \text{if}(L_{\max} = 0) \\ 1 - \frac{L_{\min}}{L_{\max}} & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$B = L_{\min} \quad (11)$$

将式(10)和式(11)带入式(9),并将权重因子 ϵ 取 0.5(可根据主观实验进一步调整 ϵ 的取值以获得更好的显示效果)可得亮度因子的表达式为:

$$n = \begin{cases} 1 & , \text{if}(L_{\max} = 0) \\ \frac{2L_{\max} + L_{\max}L_{\min} + L_{\min}}{2L_{\max}} & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

由于在同等功耗情况下,白色子像素往往具有比红绿蓝子像素更大的亮度^[9],因此在亮度因子 n 确定的情况下,可通过最大化程度利用白色子像素来降低能耗,故白色子像素的归一化线性光强尺度可表示为

$$L_w = \min\left(\frac{2L_{\max}L_{\min} + L_{\max}L_{\min}^2 + L_{\min}^2}{2L_{\max}}, 1\right), \quad (13)$$

当 $L_{\max}=0$, L_w 取 0, 通过式(2)、式(12)和式(13)的组合即可完成 rgb 信号到 RGBW 信号的映射,将其称为算法 d。

同理可知算法 a、算法 b 和算法 c 可通过同样的方式来提高能量利用效率,其对应亮度因子 n 和 L_w 可修改为:

$$n = \begin{cases} 1 + \frac{L_{\min}}{L_{\max}} & , \text{算法 a} \\ 1 + \frac{L_{\min}^2}{L_{\max}} & , \text{算法 b} \\ 1 + \frac{L_{\min}^2 + L_{\min} - L_{\min}^3}{L_{\max}} & , \text{算法 c} \end{cases} \quad (14)$$

$$L_w = \begin{cases} \min\left(L_{\min} + \frac{L_{\min}^2}{L_{\max}}, 1\right) & , \text{算法 a} \\ \min\left(L_{\min} + \frac{L_{\min}^3}{L_{\max}}, 1\right) & , \text{算法 b} \\ \min\left(L_{\min} + \frac{L_{\min}^3 + L_{\min}^2 - L_{\min}^4}{L_{\max}}, 1\right) & , \text{算法 c} \end{cases} \quad (15)$$

4 算法实现及其结果分析

通过观察映射算法可知,本文新算法的运算量与提及的现有几种商用算法并无本质区别,皆可转化为普通的四则运算,再加上处理资源运算能力的不断提高,因此在 4K 显示分辨率的基础上达到 30 f/s 是较为轻松的。本文仅通过 MATLAB 实现上述映射算法,并从柯达无损真彩色图像组(Kodak Lossless True Color Image Suite)中选取原始图像,但这一图像的 RGBW 显示效果明显不可能以图像方式直观显示在本论文中,为了使读者能够直观感受到映射算法转换前后图像的差异性,本文对其做如下处理:首先将 RGBW 信号(R, G, B, W)在亮度维度上转换为 rgb 信号($R+W, G+W, B+W$);将原始信号(r, g, b)和信号($R+W, G+W, B+W$)在亮度维度上线性缩小两倍,通过这种牺牲绝对亮度的方式来保留映射算法转换前后的相对效果,如图 1 所示。

这种等效显示方式显然不能很好地体现 RGBW 的显示效果,而且本文所选择的原图在色彩上较为单调,故此 4 种算法间色彩的差异性较小,但这更能体现 RGBW 技术在亮度维度的显示

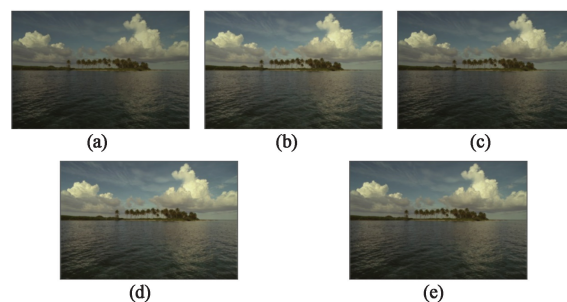


图1 等效原图和4种映射算法的显示效果。(a)等效原图;(b)算法a;(c)算法b;(d)算法c;(e)算法d。

Fig.1 Display effect of equivalent original image and 4 mapping algorithms. (a) Equivalent original image; (b) Algorithm a; (c) Algorithm b; (d) Algorithm c; (e) Algorithm d.

效果,本文的4种算法毫无疑问地提高了显示亮度,通过观察云朵亮度可知,4种算法在亮度提升能力上也的确取得了不同的效果。为进一步分析不同算法在亮度提升维度的能力,本文选取以下颜色作为样本: r, g, b 可选取 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 255 中的任意值,通过排列组合的方式来构建颜色(r, g, b),由于部分算法在 $L_{\max}=0$ 时亮度因子无定义,故排除 $L_{\max}=0$ 的颜色后共计有 999 种,并将其按照饱和度从低到高

的顺序排列为颜色 1~颜色 999。

运用 4 种映射算法对 999 种颜色进行转换并计算相应的亮度因子 n , 得到不同算法针对不同颜色时, 在亮度因子 n 和白色子像素利用率(可等效为 L_w)两个方面的能力曲线如图 2 所示。

易知, 算法 b 对亮度的提升能力最差, 算法 a 和算法 d 的亮度提升能力居中, 算法 c 的亮度提升能力最好; 白色子像素利用率方面, 本文的改进

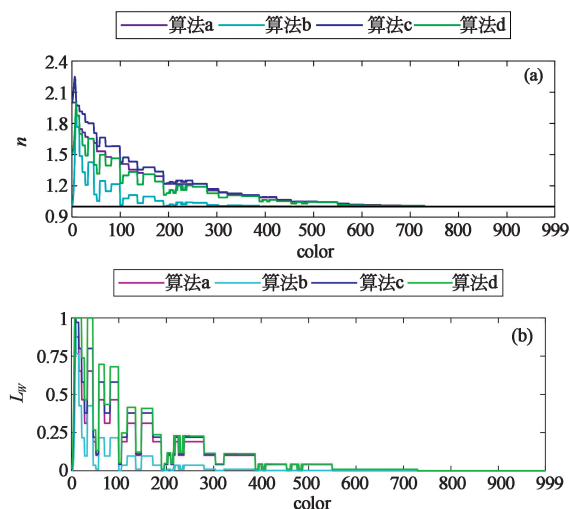


图 2 4 种映射算法的亮度提升能力及白色子像素利用率。(a) 4 种映射算法的亮度提升能力; (b) 4 种映射算法的白色子像素利用率。

Fig.2 Brightness enhancement ability and white sub-pixel utilization rate of 4 mapping algorithms. (a) Brightness enhancement ability of 4 mapping algorithms; (b) White sub-pixel utilization rate of 4 mapping algorithms.

算法 d 无疑具有最大的利用率, 其后依次为算法 c、算法 a 和算法 b。故可得出结论: 同样在保证色品不变性的前提下, 亮度提升程度相同或相近时, 算法 d 具有更大的白色子像素利用率, 即功耗更低或者说电流应力更低, 这有利于延长显示设备的寿命^[10]。需要指出的是, 图 2(a) 并不代表算法 d 的亮度提升能力弱于算法 c, ϵ 越大, 算法 d 的亮度提升能力也会相应提升。

5 结 论

优秀的映射算法有助于 RGBW 技术的推广, 故此本文提出了先确定亮度因子 n 再计算 RGBW 相应驱动值的映射算法研究方式, 这有助于研究具有较高能量利用率的新算法, 也可以据此对一些已有算法进行改进, 使之白色子像素利用率在显示效果不变的前提下达到 100%; 另在优秀映射算法应满足的普适性等式基础上, 提出了亮度因子 n 的一种表达式, 通过调整权重因子 ϵ 的大小, 可以在对比度、清晰度(细节)和亮度等方面获得不同的显示效果。过大的 ϵ 会导致对比度和图像清晰度的降低, 过小的 ϵ 又难以充分利用白色子像素, 限制了图片的整体亮度提升程度, 所以 ϵ 的恰当取值需要依赖于人眼的主观评价实验, 这是映射算法未来的重要研究方向, 因此本文新算法和现有几种算法的硬件实现是后续重点工作内容之一。

参 考 文 献:

- [1] SHLAYAN N, VENKAT R, GINOBI P, *et al.* Energy efficient RGBW pixel configuration for light-emitting displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2009, 5(11): 418-424.
- [2] HAMMER M, HINNEN K J G. Local luminance boosting of an RGBW LCD [J]. *Journal of Display Technology*, 2014, 10(1): 33-42.
- [3] 全真永, 姜昌宪, 安星俊, 等. 基于 PenTile RGBWTM 算法的高像素密度 a-Si TFT 移动液晶显示屏 [J]. 液晶与显示, 2006, 21(5): 474-477. (in English)
CHUN J Y, KANG C H, AHN S J, *et al.* a-Si TFT-LCD mobile display with high pixel density using PenTile RGBWTM algorithm [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2006, 21(5): 474-477.
- [4] 潘定平, 金伟其, 袁溯, 等. 一种基于色度学的 RGBW 信号映射算法评价方法 [J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(10): 3119-3126.
PAN D P, JIN W Q, QIU S, *et al.* RGBW signal mapping algorithm assessment based on colorimetry [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2016, 36(10): 3119-3126. (in Chinese)
- [5] 王莉莉. RGBW 系统的设计及评估 [D]. 南京: 东南大学, 2007.

- WANG L L. Design and evaluation of RGBW system [D]. Nanjing: Southeast University, 2007. (in Chinese)
- [6] HIRANO S, YASUI M, KAMIYA T. Liquid crystal display apparatus: WO0137249A2 [P]. 2001-05-25.
- [7] KWAK Y, PARK J, PARK D S, et al. Generating vivid colors on red-green-blue-white electronic-paper display [J]. *Applied Optics*, 2008, 47(25): 4491-4500.
- [8] KWON K J, KIM Y H. Scene-adaptive RGB-to-RGBW conversion using retinex theory-based color preservation [J]. *Journal of Display Technology*, 2012, 8(12): 684-694.
- [9] LU R B, HONG Q, GE Z B, et al. Color shift reduction of a multi-domain IPS-LCD using RGB-LED backlight [J]. *Optics Express*, 2006, 14(13): 6243-6252.
- [10] ARKHIPOV A, PARK K, LEE B W, et al. Adaptive white extension for peak luminance increase in RGB-WAMOLED [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2009, 40(1): 931-934.

作者简介:



潘定平(1992—),男,硕士,工程师,浙江温州人,2016年于北京理工大学获得硕士学位,主要从事电子系统总体设计、信号处理技术和彩色图像处理技术等方面的研究。E-mail: dingping.pan@139.com