

文章编号:1007-2780(2017)07-0572-08

基于权重因子的 RGB-RGBG 像素结构 转换算法及其 FPGA 实现

黄成强*, 杨友昌, 贺娟, 李天华, 罗德莲

(遵义师范学院, 贵州 遵义 563006)

摘要:主动阵列有机发光二极管(AMOLED)面板具有低功耗、视角广、柔韧性等优点,被视为下一代显示技术的关键。但是它通常采用 RGB 型像素排列,而图像的像素结构是 RGB,为了实现图像的显示,迫切需要研究 RGB-RGBG 的转换算法。本文提出了一种基于权重因子(BWF)的 RGB-RGBG 像素结构转换算法,并在现场可编程逻辑门阵列(FPGA)上实现电路。通过对原灰阶进行权重求和,得到各个 RGBG 子像素的灰阶。这种方法可以将灰阶误差降至最低。此外,彩边效应得到极大的改善。实验结果表明,相比于 DA 算法,BWF 算法处理所得图像的 PSNRU 和 PSNRV 分别提高了 9.2%和 9.3%,MSE 比 DA 算法降低 19.5%。该算法研究通过 FPGA 验证,结果表明,BWF 处理后的图像显示效果优越。

关键词: AMOLED; RGBG; 权重因子; 转换算法

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20173207.0572

RGB to RGBG conversion algorithm based on weighting factors and related FPGA realization

HUANG Cheng-qiang*, YOU You-chang, LI Tian-hua, HE Juan, LUO De-lian

(Zunyi Normal College, Zunyi 563006, China)

Abstract: Active-matrix organic light emitting diode (AMOLED) has the advantages of low power, wide view-angle, good flexibility and so on. It is regarded as the key of the next generation display technology. Generally, the sub-pixel arrangement of AMOLED is RGBG, which does not match with the RGB arrangement of image. In order to realize image display, the research of RGB-to-RGBG is urgent. In this paper, an RGB-to-RGBG conversion algorithm based on weighting factor (BWF) has been proposed, and related integrated circuit is realized on FPGA (field programmable gate array). The gray level of each RGBG sub-pixel is represented by the weighted sum of the original gray levels. The weighting factors are calculated by minimizing the square error (SE). Furthermore, the color fringing artifact is significantly improved by using this method. The experiment shows that the

收稿日期: 2017-03-25; **修订日期:** 2017-04-12.

基金项目: 贵州省教育厅重点项目(黔教合 KY 字[2015]407); 贵州省省级物理学特色重点学科(ZDXK[2015]12); 遵义师范学院博士基金(遵师 BS[2015]07 号)

Supported by project of Education Department of Guizhou Province (No. KY word[2015]407); Key Support Discipline of Guizhou Province (No. ZDXK[2015]12); Project of Zunyi Normal College (No. BS [2015]07)

* 通信联系人, E-mail: 18616836345@163.com

PSNRU and PSNRV of image processed by BWF is 9.2% and 9.3% larger than that processed by DA, and the value of MSE (mean square error) is 19.5% lower than that of DA. The proposed algorithm has been implemented on FPGA. The results show that the displayed image by using the proposed algorithm has good visual effect.

Key words: AMOLED; RGBG; weighting factor; conversion algorithm

1 引言

主动阵列有机发光二极管(AMOLED)面板具有低功耗、视角广、柔韧性等优点,被视为下一代显示技术的关键^[1-3]。近年来,Pentile 子像素结构已经广泛应用于 AMOLED^[4-6]。目前,有两种较为常用的子像素结构。其中一种是 RGB 条形,这是大多数图像的像素结构。另一种是 RG-BG,绿色子像素交替插入红色和蓝色子像素^[7]。

RGBG 结构是由 Tomizawa 等学者发明的^[8]。在 RGBG 显示面板中,每个像素单元仅有两个子像素。然而,为了呈现出各种各样的颜色,1 个像素单元应该包括三基色子像素 R、G、B。因此,需要从相邻像素单元中借用所缺少的那个子像素。例如,某个像素单元的子像素是 R 和 G,需要从相邻像素单元借用子像素 B。RGBG 型 AMOLED 显示面板具备很多优点:(1) 子像素的个数是传统 RGB 条形面板中子像素个数的三分之一;(2) RGBG 面板的分辨率是 RGB 条形面板的 1.5 倍;(3) 对于相同分辨率的面板,RGBG 面板的子像素面积更大,因此相同亮度时的电流密度更小^[9]。由于这些优点,RGBG 型 AMOLED 面板已经广泛应用于各种智能手机中^[4]。

众所周知,大多数图像的像素结构是 RGB 条形^[10-12]。因此,为了在 AMOLED 面板上显示图像,需要研究 RGB 到其它像素结构的转换算法。最简单的方法是直接映射算法(DA)。在该算法中,原图像中的绿色子像素灰阶 G 直接赋值给 RGBG 面板中的子像素 G'。原图像中红色通道子像素 R 直接赋值给相应位置子像素单元 R',接着,下一个像素单元蓝色通道子像素 B 直接赋值给 RGBG 面板中相应位置像素单元的子像素 B'。该算法有两个缺点:(1) 与原图像相比,处理后的 RGBG 格式图像信息丢失较大;(2) 彩边效应严重,图像的视觉效果较差。除此之外,几乎没有其它公开发表的论文介绍 RGB-

RGBG 转换算法。这主要有两个原因:(1) RGBG 型显示面板近年来出现,公开发表的论文较少;(2) 三星等国际公司出于技术保护的目的,并未公布其核心技术。因此,迫切需要研究 RGB-RGBG 的转换算法。

本文提出了一种基于权重因子(BWF)的 RGB-RGBG 转换算法。RGBG 显示面板中各个子像素的灰阶是原图像中相应位置的几个子像素灰阶的权重求和。在求得新灰阶的过程中,通过将灰阶误差(SE)最小化计算出权重因子。此外,通过权重求和获得新灰阶,可以极大程度地减弱彩边效应。

2 理论基础

2.1 子像素借用

图 1(a)所示为原图像中 4 个连续的像素单元,其排列结构为 RGB 条形。在 RGBG 型显示面板中,对应于图像中相应位置的连续 4 个像素如图 1(b)所示。由于 RGBG 型显示面板的最小重复单元包括 2 个像素,规定其子像素的下标为 $2i, 2i+1$,其中 $i=0, 1, 2, \dots, N/2-1$, N 为图像中总像素个数。

众所周知,通过调整三基色的比例,可以混合得到 CIE(国际照明委员会)色度图中的所有颜色。然而,在 RGBG 型显示面板中,每个像素单元仅有 2 个子像素,RG 或者 BG,所以只能显示出两种色彩。因此,为了呈现出所有的亮度和色彩,RGBG 型显示面板的任何像素单元需要从相邻像素单元中借用一个子像素,以构建三基色。如图 1(b),一个像素单元包含两个子像素,RG 或者 BG。例如,像素 $1'$ 的子像素是 R'_{2i} 和 G'_{2i} ,缺少发射蓝光的子像素。为了构建三基色,从它的相邻像素单元 $2'$ 借用子像素 B'_{2i+1} ,以呈现出所有的色彩。相类似,像素单元 $2'$ 的子像素是 B'_{2i+1} 和 G'_{2i+1} ,缺少发红光的子像素,所以,从它的相邻像素单元 $3'$ 中借用子像素 R'_{2i+2} 。

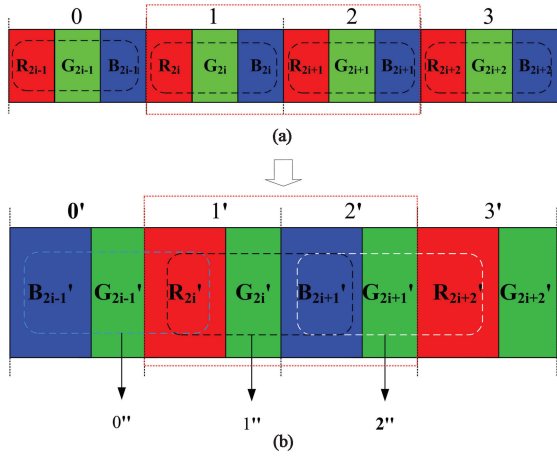


图 1 RGB 和 RGBG 的 4 个像素单元。(a) RGB 条形的 4 个像素单元；(b) RGBG 的 4 个像素单元。

Fig.1 Four pixel units of RGB and RGBG. (a) Four pixel units of RGB; (b) Four pixel units of RGBG.

2.2 RGBG 型显示面板的图像视觉效果

2.2.1 虚拟图像

RGBG 型面板的显示机理是子像素借用,如图 1(b)。虽然像素单元 $1'$ 的子像素是 R'_{2i} 和 G'_{2i} ,但是,呈现出像素单元 $1'$ 的色彩是亮度信息的子像素却包括 R'_{2i} 、 G'_{2i} 和 B'_{2i+1} 。因此,本文提出了虚拟像素和虚拟子像素的概念。例如,像素 $1'$ 的虚拟像素是 $1''$,它包含 3 个虚拟子像素 R'_{2i} 、 G'_{2i} 和 B'_{2i+1} 。类似地,像素 $2'$ 的虚拟子像素是 $2''$,同样包含 3 个子像素 R'_{2i+2} 、 G'_{2i+1} 和 B'_{2i+1} 。

相比于原图像,RGBG 型显示面板的子像素个数节省了三分之一。因此,图像在屏端的视觉效果或多或少会被弱化。本文需要评估在 RGBG 显示面板屏端的图像视觉效果。如图 1,像素单元 1 和 2 的颜色和亮度依赖于各自子像素的灰阶大小。相应地,像素 $1'$ 和像素 $2'$ 的颜色和亮度信息分别依赖于它们的虚拟像素的灰阶大小。因此,原像素单元与虚拟像素单元之间的差异,应该作为评判屏端图像视觉效果的标准。为了评估屏端图像视觉效果,本文引入了虚拟图像的概念。

2.2.2 平方误差

平方误差(SE)的定义是原图像与虚拟图像之间的灰阶差异,其表达式如下:

$$SE = \sum_{i=0}^{N/2-1} (R_{2i} - R'_{2i})^2 + (G_{2i} - G'_{2i})^2 + (B_{2i} - B'_{2i+1})^2 + (R_{2i+1} - R'_{2i+2})^2 + (G_{2i+1} - G'_{2i+1})^2 + (B_{2i+1} - B'_{2i+1})^2, \quad (1)$$

其中: R_{2i} 、 G_{2i} 和 B_{2i} 表示原图像中第 $(2i)$ 个像素单元的 3 个子像素的灰阶。 R_{2i+1} 、 G_{2i+1} 和 B_{2i+1} 表示第 $(2i+1)$ 个像素单元的子像素的灰阶。 R'_{2i} 、 G'_{2i} 和 B'_{2i+1} 表示虚拟图像中第 $(2i)$ 个像素的三个子像素的灰阶。 R'_{2i+2} 、 G'_{2i+1} 和 B'_{2i+1} 表示虚拟图像中 $(2i+1)$ 个像素的 3 个子像素的灰阶。 N 是总的像素个数。SE 越小,原图像与虚拟图像之间的差异越小,在 RGBG 型显示屏屏端图像的视觉效果也就越好。

2.2.3 彩边效应

在 RGBG 型 AMOLED 屏端,彩边效应的出现将会弱化图像的显示效果,这与亚像素渲染类似^[13],这篇文献中能够找到彩边效应的具体问题。例如,在图 1 中,如果像素 0 和像素 3 的灰阶均为 0,而像素 1 和 2 的灰阶都是 255,按照直接映射算法,RGBG 型显示面板的灰阶可以如下表示:

$$\begin{aligned} B'_{2i-1} &= B_{2i-1} = 0, G'_{2i-1} = G_{2i-1} = 0 \\ R'_{2i} &= R_{2i} = 255, G'_{2i} = G_{2i} = 255 \\ B'_{2i+1} &= B_{2i+1} = 255, G'_{2i+1} = G_{2i+1} = 255 \\ R'_{2i+2} &= R_{2i+2} = 0, G'_{2i+2} = G_{2i+2} = 0 \end{aligned}$$

根据像素借用,原像素 0 的颜色为黑色,而相应的虚拟像素 $0''$ 却是红色。这意味着,在 RGBG 面板中,在显示高频图像细节时,虚拟像素的颜色与原图像中相应位置像素的颜色大不相同。这种现象叫做彩边效应。在 RGB-RGBG 转换中,需要将彩边效应降至最低。

文献[14]提出了在亚像素渲染领域评估彩边效应程度的方法。类似地,本文也建立评估彩边效应的方法,先将图像从 RGB 格式转换成 YUV 格式,通过对比原图像与虚拟图像 U 、 V 分量的差异评估彩边效应的强弱。类似于文献[14],本文提出了 U 分量的峰值信噪比 PSNR_U 和 V 分量的峰值信噪比 PSNR_V

$$PSNR_U = 10 \times \log_{10} (255^2 / MSE_U)$$

$$MSE_U = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U_i - U'_i)^2, \quad (2)$$

其中: U_i 表示原图像中第 i 个像素单元的值, U_i' 表示虚拟图像中第 i 个像素单元的值。 N 为总像素个数。 $PSNR_V$ 的定义相类似。 $PSNR_U$ 越大, 原图像与虚拟图像之间的色彩差别越小, 因此, 屏端图像的视觉效果就越好。

3 提出的算法

从原图像中取出几个像素单元的灰阶, 可以计算出 RGBG 显示面板屏端图像相应位置像素的灰阶。最简单的方法是直接映射算法(DA)。然而, 如前所述, 这种方法处理所得图像的视觉效果较差, 尤其是处理高频图像细节的时候, 彩边效应非常严重。为了改善彩边效应, 本文引入权重因子, 使得 RGBG 型显示面板屏端图像灰阶是原图像中相应会几个像素灰阶的权重之和。转换公式如下:

$$\begin{cases} R'_{2i} = (1 - \alpha_i) \times R_{2i-1} + \alpha_i \times R_{2i}, G'_{2i} = G_{2i} \\ B'_{2i+1} = (1 - \beta_i) \times B_{2i} + \beta_i \times B_{2i+1}, G'_{2i+1} = G_{2i+1} \\ R'_{2i+2} = (1 - \alpha_{i+1}) \times R_{2i+1} + \alpha_{i+1} \times R_{2i+2} \end{cases} \quad (3)$$

R_{2i-1} 、 R_{2i} 、 G_{2i} 、 G_{2i+1} 、 B_{2i} 和 B_{2i+1} 原图像中子像素的灰阶。 R'_{2i} 、 G'_{2i} 、 B'_{2i+1} 和 G'_{2i+1} 表示 RGBG 型显示面板屏端相应位置子像素的灰阶。 α_i 、 β_i 和 α_{i+1} 是权值因子。对于绿色通道的子像素单元, 原图像中的子像素和 RGBG 型显示屏上的子像素是一一对应的。因此, 在转换过程中, 绿色通道保持不变。

结合式(1)和式(3), SE 可以表示为:

$$\begin{aligned} SE = & \sum_{i=0}^{N/2-1} [(1 - \alpha_i) \times R_{2i-1} + \alpha_i \times R_{2i} - R_{2i}]^2 + \\ & [(1 - \beta_i) \times B_{2i} + \beta_i \times B_{2i+1} - B_{2i}]^2 + \\ & [(1 - \alpha_{i+1}) \times R_{2i+1} + \alpha_{i+1} \times R_{2i+2} - R_{2i+1}]^2 + \\ & [(1 - \beta_i) \times B_{2i} + \beta_i \times B_{2i+1} - B_{2i+1}]^2. \end{aligned} \quad (4)$$

本文提出的权值因子(BWF)算法的关键点在于, 怎样寻找最佳权重因子, 将 SE 最小化。为了寻找最佳权值因子, SE 的一阶偏微分应该为零:

$$\begin{aligned} \partial SE / \partial \alpha_i &= 0, \quad \partial SE / \partial \beta_i = 0, \\ \partial SE / \partial \alpha_{i+1} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

结合(4)和(5), 求得最佳权值因子为:

$$\begin{cases} \alpha_i = \begin{cases} \forall, R_{2i} = R_{2i-1} \\ 0.5, R_{2i} \neq R_{2i-1} \end{cases} \\ \beta_i = \begin{cases} \forall, B_{2i+1} = B_{2i} \\ 0.5, B_{2i+1} \neq B_{2i} \end{cases} \\ \alpha_{i+1} = \begin{cases} \forall, R_{2i+2} = R_{2i+1} \\ 0.5, R_{2i+2} \neq R_{2i+1} \end{cases} \end{cases} \quad i = 0, 1, \dots, N/2 - 1. \quad (6)$$

为了简化硬件实现的难度, 该公式可以修正如下:

$$\begin{cases} \alpha_i = \begin{cases} 1, R_{2i} = R_{2i-1} \\ 0.5, R_{2i} \neq R_{2i-1} \end{cases} \\ \beta_i = \begin{cases} 1, B_{2i+1} = B_{2i} \\ 0.5, B_{2i+1} \neq B_{2i} \end{cases} \\ \alpha_{i+1} = \begin{cases} 1, R_{2i+2} = R_{2i+1} \\ 0.5, R_{2i+2} \neq R_{2i+1} \end{cases} \end{cases} \quad i = 0, 1, \dots, N/2 - 1. \quad (7)$$

结合(3)和(7), RGB-RGBG 转换公式如下:

$$\begin{cases} R'_{2i} = \begin{cases} R_{2i}, R_{2i} = R_{2i-1} \\ 0.5 \times R_{2i-1} + 0.5 \times R_{2i}, R_{2i} \neq R_{2i-1} \end{cases} \\ G'_{2i} = G_{2i} \\ B'_{2i+1} = \begin{cases} B_{2i+1}, B_{2i+1} = B_{2i} \\ 0.5 \times B_{2i} + 0.5 \times B_{2i+1}, B_{2i+1} \neq B_{2i} \end{cases} \\ G'_{2i+1} = G_{2i+1} \end{cases}. \quad (8)$$

彩边效应通常出现在图像的边沿。因此, 对于高频图像细节, 需要特殊的处理方式。公式(8)提供了一个较为完善的解决方案。对于低频图像细节, RGBG 格式的像素灰阶的求解非常简单, 就是原图像中相应位置的像素灰阶, 这有利于降低硬件实现的复杂度。然而, 对于高频图像细节, RGBG 格式图像中像素的灰阶, 是原图像中相应位置像素灰阶的权重之和, 这有利于减弱彩边效应。

根据(1), SE 的二阶偏微分如下:

$$\begin{cases} \partial^2 SE / \partial \alpha_i^2 = 4(R_{2i} - R_{2i-1})^2 \geq 0 \\ \partial^2 SE / \partial \beta_i^2 = 4(B_{2i+1} - B_{2i})^2 \geq 0 \\ \partial^2 SE / \partial \alpha_{i+1}^2 = 4(R_{2i+2} - R_{2i+1})^2 \geq 0 \end{cases}, \quad (9)$$

SE 的一阶偏微分等于零, 二阶偏微分大于等于零, 这说明, 当采用公式(7)的方法求出权重因子时, 灰阶误差 SE 最小。

上面已经讨论了在水平方向上 RGB-RGBG 的转换。垂直方向上的转换如图 2。图 2(a)是原

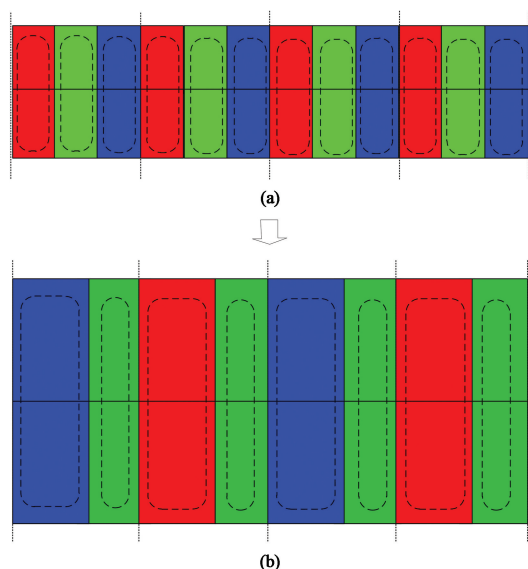


图 2 垂直方向上的转换。(a) 原图像中上下两行的像素;(b) 相应的 RGBG 像素。

Fig.2 Conversion of vertical direction. (a) Sub-pixel of two lines in the original image; (b) Sub-pixel of two lines in the RGBG panel.

图像中上下两行的像素,相应地,是 RGBG 面板中对应位置的两行像素。前面已经阐述过,彩边效应是由于子像素借用引起的。与水平方向不同的是,在垂直方向上不需要借用子像素,因为 RGBG 面板中任何像素单元的子像素分布于水平方向。换言之,在 RGB 到 RGBG 转换的过程中,垂直方向上不存在彩边效应。因此,在垂直方向上不需要特殊的处理。

综上,本文基于权重因子提出了 BWF 算法。具体来说,RGBG 型显示面板中,红色通道与绿色通道的子像素灰阶是原图像中相应位置几个子像素灰阶的权重之和。通过最小化灰阶误差 SE ,得到最佳权重因子,实现转换算法。因此,当在 RGBG 型 AMOLED 面板上显示 RGB 格式的图像时,屏端图像的视觉效果退化被降至最低。

4 实验结果

如前所述,虚拟图像反映的是 RGBG 型显示面板传达的图像细节。因此,可以用原图像与虚拟图像之间的差别去评估 BWF 算法的性能。

图 3 是原图像与虚拟图像的对比。其中 (a1)、(b1)、(c1) 和 (d1) 为原图像。其中, (d1) 是

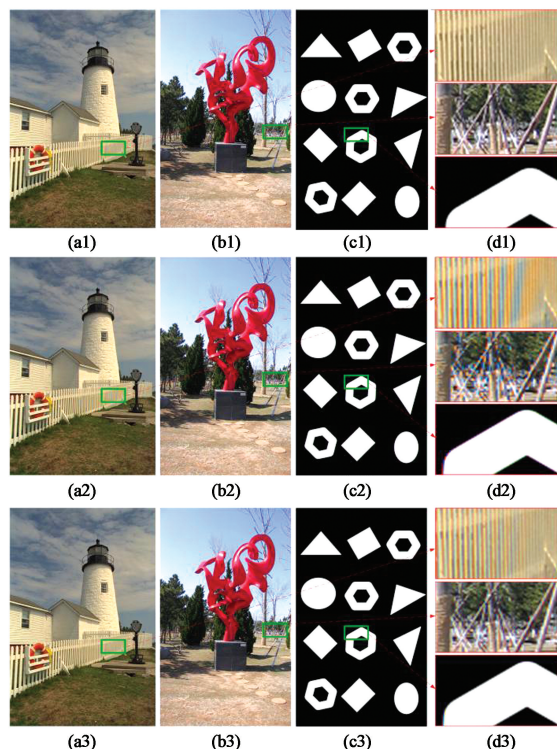


图 3 原图像与虚拟图像的对比

Fig.3 Comparison of the original image and the virtual image

由 (a1)、(b1) 和 (c1) 中的部分放大细节组合而成。(a2)、(b2)、(c2) 和 (d2) 是通过 DA 算法处理所得的虚拟图像。其中, (d2) 是由 (a2)、(b2) 和 (c2) 中的部分放大细节组合而成。(a3)、(b3)、(c3) 和 (d3) 通过 BWF 算法处理得到的虚拟图像。其中, (d3) 是由 (a3)、(b3) 和 (c3) 中的部分放大细节组合而成。对比 (d1) 和 (d2), 明显看出, (d2) 的视觉效果严重退化。这是因为在采用 DA 算法时, (d2) 中的高频成分受彩边效应的影响。与 (d2) 相比, (d3) 的视觉效果得到较大改善。这是因为在 BWF 算法中引入了权重因子。(d1) 和 (d3) 没有较大区别, 说明 BWF 算法处理图像的视觉效果和原图像视觉效果相当, 提出的算法表现良好。

为了客观地评估彩边效应, 本文计算了同样 3 张图像的 PSNRU 和 PSNRV 的值, 见表 1 和表 2。

从表 1 和表 2 中可以看出, 相比于 DA 算法, BWF 算法处理所得图像的 PSNRU 和 PSNRV 分别提高了 9.2% 和 9.3%。由 BWF 算法处理所

得图像的 PSNR 值总是大于 DA 算法的处理结果,说明本文所提出的算法改善了彩边效应。

表 1 三张图像的 PSNR_UTab.1 PSNR_U of three images

图像	DA	BWF
(a)	31.63	34.50
(b)	29.30	32.77
(c)	31.82	34.02
均值	30.92	33.76

表 2 三张图像的 PSNR_VTab.2 PSNR_V of three images

图像	DA	BWF
(a)	31.75	34.68
(b)	30.25	33.54
(c)	32.26	34.82
均值	31.42	34.35

为了评估原图像与处理所得图像之间的差异,本文引入了平均平方误差(MSE):

$$MSE = \sum_{i=0}^{N-1} \sqrt{(R_i - R_i')^2 + (G_i - G_i')^2 + (B_i - B_i')^2} / N, \quad (9)$$

其中, R_i 、 G_i 和 B_i 表示原图像中第 i 个像素单元的灰阶, R_i' 、 G_i' 和 B_i' 表示虚拟图像中第 i 个像素单元的灰阶。 N 是总的像素个数。MSE 越小,原图像与虚拟图像之间的差异越小,算法的性能就越优越。

表 3 三张图像的 MSE

Tab.3 MSE of three images

图像	DA	BWF
(a)	8.89	7.07
(b)	12.01	9.62
(c)	2.31	2.00
均值	7.74	6.23

对于同样的 3 张图像,BWF 算法和 DA 算法处理所得的 MSE 值见表 3。BWF 算法的 MSE 比 DA 算法降低 19.5%,说明本文提出的算法引起的信息丢失更少。此外,我们对大量图像进行了验证,BWF 的性能更加优越。

虽然,RGBG 像素结构在 AMOLED 显示面板中已被广泛使用,但是出于技术保护的目的,嵌入到现有产品内部的 RGB-RGBG 的转换算法无从得知。此外,目前几乎没有公开发表的刊物论述该转换算法。因此,此处无法论述 BWF 算法与其它算法的对比。

5 FPGA 实现

5.1 显示系统

已在型号为 Cyclone II 系列 EP2C35F672C6

的现场可编程逻辑门阵列(FPGA)开发板上实现了 RGB-RGBG 的转换电路。图 4 是应用 RGBG 型 AMOLED 显示面板的图像显示系统。首先,将原图像的数据存储在同步动态随机存取存储器的一块存储区。然后,使用所研究的算法把这些 RGB 格式的数据转换成 RGBG 格式,并将新数据存储在 SDRAM 的另外一块存储区。最后,通过图像显示驱动模块,将这些新数据输入屏端,实现显示。

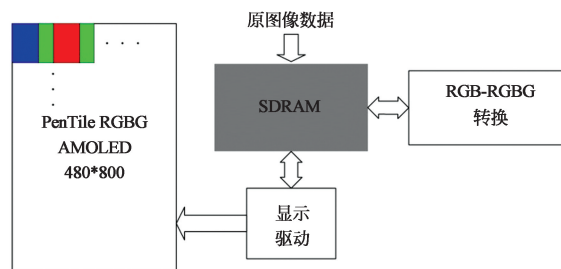


图 4 应用 RGBG 型 AMOLED 显示面板的图像显示系统

Fig. 4 Image display system which uses RGBG AMOLED panel

5.2 电路系统

为了在 FPGA 开发板上实现本文提出的算法,通过编写 Verilog 代码,将上述 RGB-RGBG 转换算法做成数字集成电路,烧录到 FPGA 芯片。

5.2.1 实现 RGB-RGBG 转换的电路

RGB-RGBG 转换算法的电路结构如图 5 所示。该电路系统主要包括:转换控制模块、RGB-RGBG 转换模块和 SDRAM 接口。首先,通过控

制 SDRAM 接口电路,转换控制模块从 SDRAM 的存储区读取原图像中几个像素单元的灰阶。随后将这些数据传输到 RGB-RGBG 转换模块电路,按照上述算法处理。处理结束之后得到新的数据,被传输至转换控制模块。最后,通过 SDRAM 接口电路,将新的数据写入 SDRAM 的另一块存储区。重复上述过程,直至完成图像中所有像素单元数据的处理。

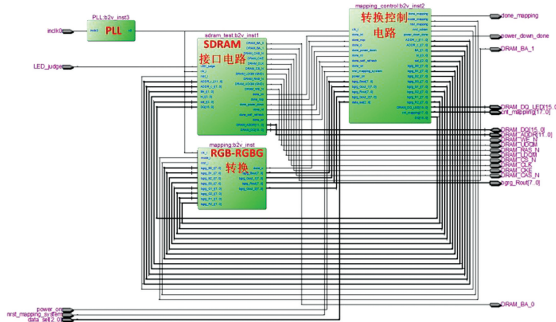


图 5 RGB-RGBG 转换电路

Fig.5 RGB-RGBG conversion circuit

5.2.2 图像显示电路

通过 RGB-RGBG 转换电路将处理所得的新图像数据放在 SDRAM 的一块存储区,将这些数据传输到屏端,就可以实现图像的显示。图像显示电路如图 6 所示,主要由 SDRAM 接口电路、SPI(Serial Peripheral Interface)配置电路、图像显示电路三大模块构成。配置 SPI 图像的显示非常关键,可以通过配置 SPI 参数,设置打开或关闭屏的显示模式、图像数据格式为 16M 全彩模式或 252K 模式、选择是否绕过屏内部集成的某些处理功能等等。这些都为图像的显示做充分准备。按照数据手册给出的 SPI 时序图,编写 Verilog 代码,实现电路。在 SPI 配置完成后,启动图像显示电路工作。为了实现图像在

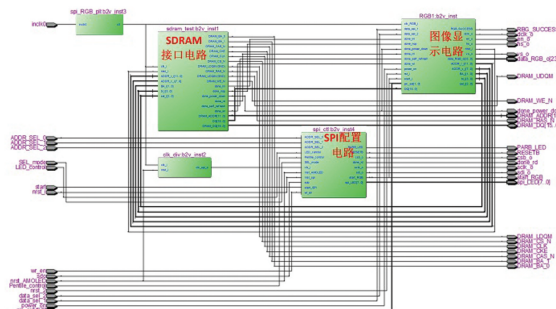


图 6 图像显示电路

Fig.6 Circuit for image display

AMOLED 屏端的显示,需要先将原图像数据存储到 SDRAM 的特定存储区域,然后启动 SPI 配置电路设置所需的 SPI 参数,最后启动图像显示驱动电路将图像数据传输到屏端。图像数据的输入需要满足数据手册给出的时序。在 quartus 环境下,编写 Verilog 代码,主要以状态机的结构将时序图转换为硬件描述语言,并综合生成图像显示驱动电路。

5.2.3 AMOLED 图像显示系统

图 7 是应用 3.7 英寸(1 in=2.54 cm)RGBG 型 AMOLED 面板的显示系统,用 BWF 作为驱动算法。其中,AMOLED 面板的分辨率是 480×800,由双输出 DC 电源供电,电压为 +4.9 V/−4.9 V。将 quartus 环境下综合生成的电路烧录到 FPGA 芯片,实现图像在屏端的显示。



图 7 应用 3.7 in RGBG 型 AMOLED 面板的显示系统

Fig.7 Display system which uses 3.7 in RGBG AMOLED

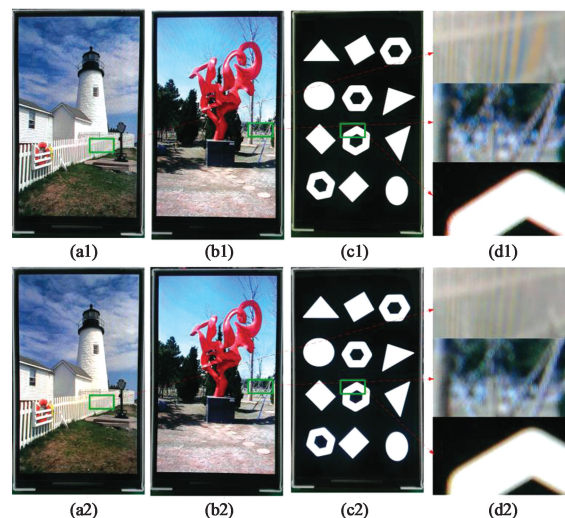


图 8 图像在 RGBG 型 AMOLED 屏端显示的对比效果

Fig.8 Comparison effect of image displayed on RGBG AMOLED panel

使用 FPGA 开发板,实现了 RGB-RGBG 的转换电路。图像在 RGBG 型 AMOLED 屏端显示的对比效果如图 8。(a1)、(b1)、(c1)和(d1)是由 DA 算法的处理所得图像的显示图。其中(d1)是由(a1)、(b1)和(c1)中的部分放大细节组合而成。(a2)、(b2)、(c2)和(d2)是由 BWF 算法的处理所得图像的显示图。其中(d2)是由(a2)、(b2)和(c2)中的部分放大细节组合而成。由于在 BWF 算法中引入了权重因子。与(d1)相比,(d2)的彩边相应改善非常明显。

6 结 论

本文提出了基于权重因子的 RGB-RGBG 转换算法,并在 RGBG 型 AMOLED 屏端实现了图像显示。显示面板中,各个子像素的灰阶是原图像中相应位置几个子像素灰阶的权重之和。通过将原图像与虚拟图像之间的灰阶误差最小化,求得 BWF 算法的权重因子。相比于 DA 算法,BWF 算法处理所得图像的 PSNRU 和 PSNRV 分别提高了 9.2%和 9.3%,MSE 比 DA 算法降低 19.5%。本文已通过 FPGA 开发板实现了 AMOLED 图像显示系统,并验证了算法的性能。

参 考 文 献:

- [1] HUANG C Q, ZHANG Q, WANG H, *et al.* A low power and low complexity automatic white balance algorithm for AMOLED driving using histogram matching [J]. *Journal of Display Technology*, 2015, 11(1): 53-59.
- [2] NIU Y F, LIU S F, CHIOU J Y, *et al.* Improving the flexibility of AMOLED display through modulating thickness of layer stack structure [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2016, 24(5): 293-298.
- [3] 黄成强,李天华,贺娟.直方图平移的色彩还原算法研究[J].液晶与显示,2016,31(10):983-988.
HUANG C Q, LI T H, HE J. Color rendition algorithm based on histogram shifting [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(10): 983-988. (in Chinese)
- [4] FANG L, AU O C, CHEUNG N M. Subpixel rendering: from font rendering to image subsampling [J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2013, 30(3): 177-189.
- [5] POLLACK J. Displays of a different stripe [J]. *IEEE Spectrum*, 2006, 43(8): 40-44.
- [6] ENGELHARDT T, SCHMIDT T W, KAUTZ J, *et al.* Low-cost subpixel rendering for diverse displays [J]. *Computer Graphics Forum*, 2014, 33(1): 199-209.
- [7] Wikipedia. PenTile matrix family [EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/PenTile_matrix_family#PenTile_RGB/.
- [8] TOMIZAWA K, NAKAMURA K. Display device; US20090021534A1 [P]. 2009-01-22.
- [9] Nouvoyance. Nouvoyance explains why PenTile OLEDs last longer [EB/OL]. <http://www.oled-info.com/nouvoyance/>.
- [10] 赵文达,续志军,赵建,等.基于梯度直方图变换增强红外图像的细节[J].光学精密工程,2014,22(7):1962-1968.
ZHAO W D, XU Z J, ZHAO J, *et al.* Enhancement of infrared image details based on gradient histogram transform [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(7): 1962-1968. (in Chinese)
- [11] 吴炜,王美洁,李智,等.基于多传感器的红外图像超分辨[J].光学精密工程,2015,23(10):566-575.
WU W, WANG M J, LI Z, *et al.* Multi-sensor based infrared image super-resolution [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(10): 566-575. (in Chinese)
- [12] 杨凯,陈祥光,金怀平.基于图像处理的轮胎胎面自动测长系统[J].光学精密工程,2015,23(10):497-503.
YANG K, CHEN X G, JIN H P. Automatic measurement system of tire tread length based on image processing [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(10): 497-503. (in Chinese)
- [13] KANG S J. Color difference-based subpixel rendering for matrix displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2013, 9(8): 632-637.
- [14] FANG L, AU O C, TANG K T, *et al.* Novel 2-D MMSE subpixel-based image down-sampling [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(5): 740-753.

作者简介:黄成强(1985—),男,贵州遵义人,博士研究生,主要从事数字集成电路研究。E-mail:18616836345@163.com