

# 图像采集系统中色彩复原模块 的 FPGA 实现

赵 釜<sup>1,2</sup>, 杜晓晴<sup>1,2</sup>, 金 珠<sup>1,2</sup>, 张 静<sup>1</sup>

(1.重庆大学光电工程学院, 重庆 400030; 2.重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

**摘 要:** 图像的色彩复原是彩色图像采集系统的关键技术, 决定了采集图像的质量。针对目前 CMOS 图像传感器广泛使用的 Bayer 格式图像, 介绍了双线性插值法、梯度检测插值法和相关性插值法三种色彩复原算法; 然后建立了基于 Altera 公司 Cyclone II 系列 FPGA 芯片的图像采集系统, 并采用 Verilog 硬件描述语言在 FPGA 上实现了色彩复原算法。实验结果表明, 该 FPGA 利用其丰富的内部硬件资源和并行处理的优势, 能实时准确地完成色彩复原工作, 同时, 相关性插值法获得了最高峰值信噪比, 恢复的彩色图像边缘清晰平滑。

**关键词:** 色彩复原; 现场可编程门阵列; Bayer 型格式; 相关性

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** B

## The FPGA Implementation of Color Reversion Module in Image Acquisition System

ZHAO Fu<sup>1,2</sup>, DU Xiao-qing<sup>1,2</sup>, JIN Zhu<sup>1,2</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>

(1. Opto-Electronic Engineering Department, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. Key Lab of Optoelectronic Technology and Systems of MOE, Chongqing University, Chongqing, 400030, China)

**Abstract:** Color reversion is the key technology in color image acquisition system and it determines the image quality. Bayer pattern image is a popular image pattern for cmos image sensor. Three algorithms of color reversion which are bilinear interpolation method, gradient-sensing method and interpolation using signal correlation are introduced. An image acquisition system based on Cyclone II series FPGA was established and the color reversion algorithms were realized on FPGA using Verilog hardware description language. The experimental results indicate that FPGA can accurately accomplish color reversion in real time due to its abundant hardware resources and parallel processing technology, and our results also show that the maximum Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) is obtained by signal correlation algorithm and the interpolated image has clear and smooth edge.

**Keywords:** color reversion; FPGA; bayer pattern; signal correlation

## 引言

近年来,数字图像采集系统的应用越来越广泛,出于对成本与体积的考虑,大部分的数字图像采集系统前端都采用一块 CCD/CMOS 作为接收图像的传感器,在其感光表面覆盖颜色滤波阵列(CFA),如图 1 所示。CFA 上每个格点仅允许通过一种颜色分量,这样采集的图像每个像素的位置上只有一种颜色分量可以获得,所以要复原另外两种缺少的颜色分量,就必须通过相邻像素来估算,这个过程叫 CFA 插值。



图 1 图像采集系统前端结构图

目前使用最为广泛的是 Bayer 型格式的 CFA<sup>[1]</sup>, Bayer 型颜色滤波阵列具有很好的颜色信号敏感特性和颜色恢复特性,因此应用十分广泛。在这种格式的图像中,图像一半的像素分配给 G 分量,而 R 和 B 分量占图像的另一半像素,如图 2 所示。而选择好的插值方法对获取高质量图像是非常重要的。寻找一种适合数字图像采集系统使用的,在处理速度和成像质量方面均达到要求的插值方法就显得十分必要<sup>[2]</sup>。现场可编程门阵列(FPGA)器件是当今运用极为广泛的可编程逻辑器件。FPGA 能在设计上实现硬件并行和流水线(pipeline)技术,这对于大数据量的图像处理工作是十分有利的。同时 FPGA 有很强的灵活性,可以依据需要进行重构配置,有较强的通用性,适于模块化设计。因此,本文采用 FPGA 芯片建立实时的图像采集系统,通过 Verilog 硬件描述语言在 FPGA 上实现色彩复原算法,并选择最佳的色彩复原算法来编写图像采集系统中的色彩复原模块。

B <sub>11</sub>	G <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	G <sub>14</sub>	B <sub>15</sub>
G <sub>21</sub>	R <sub>22</sub>	G <sub>23</sub>	R <sub>24</sub>	G <sub>25</sub>
B <sub>31</sub>	G <sub>32</sub>	B <sub>33</sub>	G <sub>34</sub>	B <sub>35</sub>
G <sub>41</sub>	R <sub>42</sub>	G <sub>43</sub>	R <sub>44</sub>	G <sub>45</sub>
B <sub>51</sub>	G <sub>52</sub>	B <sub>53</sub>	G <sub>54</sub>	B <sub>55</sub>

图 2 Bayer 型色彩滤波阵列

## 1 常用色彩复原算法

### 1.1 双线性插值

这种插值法是最简单、基础的插值算法之一,属于单通道独立插值法,每个像素位置上缺少的彩色分量由 3×3 邻域内具有相同颜色分量的像素平均值获得<sup>[3]</sup>。如考虑图 2 中坐标(3,3)处,此处只有蓝色信息,为了得到全彩色信息,必须恢复出红色和绿色分量,利用双线性法可以得到:

$$G_{33} = \frac{G_{23} + G_{32} + G_{34} + G_{43}}{4} \quad (1)$$

$$R_{33} = \frac{R_{24} + R_{24} + R_{42} + R_{44}}{4} \quad (2)$$

由于双线性法是单通道之间独立插值,并且始终取 3×3 滤波器的平均值,忽略了细节信息,以及图片三个颜色通道之间的相关性,所以双线性法往往不能得到满意的插值效果,容易在细线状态结构的边缘处产生锯齿形图案。

### 1.2 梯度检测插值法

这种方法先根据图像边缘的格式对缺少的 G 分量进行插值。在恢复绿色分量时,先通过计算梯度来检测边界方向,从而选择合适的插值方向<sup>[4-6]</sup>。以图 2 中的 R<sub>44</sub> 为例:假设  $\alpha$  为该采样点水平方向的梯度,  $\beta$  为竖直方向的梯度,通过计算亮度分量来确定参考像素点可能的边界方向,其中:

$$\alpha = |G_{43} - G_{45}| \quad (3)$$

$$\beta = |G_{34} - G_{54}| \quad (4)$$

如果  $\alpha < \beta$ , 则认为水平方向存在边界的概率比较大,插值会在水平方向进行,插值公式如式(5)所示。

$$G_{44} = \frac{G_{43} + G_{45}}{2} \quad (5)$$

$$\text{同理可知,当 } \alpha > \beta \text{ 时, } G_{44} = \frac{G_{34} + G_{54}}{2} \quad (6)$$

$$\text{当 } \alpha = \beta \text{ 时, } G_{44} = \frac{G_{43} + G_{45} + G_{34} + G_{54}}{4} \quad (7)$$

与双线性插值的方法相比,梯度检测方法有两方面改进:一个是颜色错误像素的数量大量减少,另一个是边缘锐化。但这种方法也有两个缺点:一个是比双线性插值复杂,另一个是只检测垂直和水平的边缘,对非水平和垂直的边缘没有考虑。

### 1.3 相关性插值算法

前面介绍的两种通用的插值方法,都是用邻域内存在的 G 分量来计算缺少的 G 分量,而没有考虑 R、G、B 三个分量的相关性。实际上,R 通道与 G 通道,以及 B 通道与 G 通道之间的光强度十分接近,差别不大,同时由于色差图像的灰度没有很明显的变化,说明图像各通道的强度的变化趋势是相似的,但色差图像仍然大致反映了原始图像的轮廓。除了边界的高频区域,色差图像跟三通道的分量图像相比,灰度的变化更加平滑,在一个相当大的邻域内都基本保持恒定,所以采用色差值来描述图像在一个小邻域内保持恒定比用图像的各通道信息在一个小邻域内保持恒定要更加准确合理<sup>[6,7]</sup>。

因此在相邻的小区域内设  $DR=G-R, DB=G-B$  可以认为 DR 和 DB 为常数,这样就可以对 G 分量进行插值计算,完成后用得到的 G 分量再来得出 R 和 B 分量。下面给出了计算图 2 中  $B_{33}$  位置缺少的  $G_{33}$  和  $R_{33}$  分量的公式,其中公式(8)~(11)计算  $B_{33}$  周围的  $G_{23}$ 、 $G_{32}$ 、 $G_{34}$ 、 $G_{43}$  处的区域因子  $K_{B_{23}}$ 、 $K_{B_{32}}$ 、 $K_{B_{34}}$ 、 $K_{B_{43}}$ ,然后再由公式(12)计算出  $B_{33}$  处的  $G_{33}$  分量的值。同理可计算区域因子  $K_{R_{23}}$ 、 $K_{R_{32}}$ 、 $K_{R_{34}}$ 、 $K_{R_{43}}$ ,最后依照公式(13)计算出  $R_{33}$  分量值。

$$K_{B_{23}} = G_{23} - B_{23} = G_{23} - \frac{B_{13} + B_{33}}{2} \quad (8)$$

$$K_{B_{32}} = G_{32} - \frac{B_{31} + B_{33}}{2} \quad (9)$$

$$K_{B_{34}} = G_{34} - \frac{B_{33} + B_{35}}{2} \quad (10)$$

$$K_{B_{43}} = G_{43} - \frac{B_{33} + B_{53}}{2} \quad (11)$$

$$G_{33} = B_{33} + \frac{K_{B_{23}} + K_{B_{32}} + K_{B_{34}} + K_{B_{43}}}{4} \quad (12)$$

$$R_{33} = G_{33} - \frac{K_{R_{23}} + K_{R_{32}} + K_{R_{34}} + K_{R_{43}}}{4} \quad (13)$$

这种利用信号相关的插值方法虽然比双线性插值方法复杂,但计算量比边缘检测少,同时还考虑了图像 R、G、B 三个分量的关系,这样就不会因为某个分量变化过大而引起的色彩错误,减少了图像中的奇点。

## 2 色彩复原算法的 FPGA 实现

本设计采用的是美国 Altera 公司的 Cyclone II EP2C35F672C6 芯片,其具有 33216 个逻辑单元,105 个 M4K RAM 存储资源并内嵌了大量的硬件乘法器和 PLL。丰富的硬件逻辑资源可以用来实现多个处理块的并行运算,从而大大提高系统的整体处理速度。按常规的做法,插值运算都需要  $5 \times 5$  的滤波器窗口,这样为了完成插值算法就至少需要 4 个行缓冲来保存图像数据,硬件开销非常大<sup>[8]</sup>。在综合考虑了图像质量和硬件处理速度之间的平衡的基础上,本设计采用了  $5 \times 3$  的处理窗口,参照上面相关性插值的计算方法,仍以  $B_{33}$  处的 G 分量计算为例,我们损失一个相关对比数据  $B_{53}$ ,以纵向梯度的  $B_{33}$  来代替。这样不仅引入了相关性的运算<sup>[9]</sup>,而且还保证了完成插值算法仅需要使用 2 个行缓冲来保存图像数据,降低了硬件资源的消耗,与传统的双线性插值算法的硬件开销基本在一个数量级上。因而很大的提高了相关性插值方法的应用范围和前景。

具体的硬件结构设计如图 3 所示,调用两个行缓冲 RAM 来保存两行数据,配合相应的寄存器构成一个  $5 \times 3$  的窗口,来进行相关性插值处理。

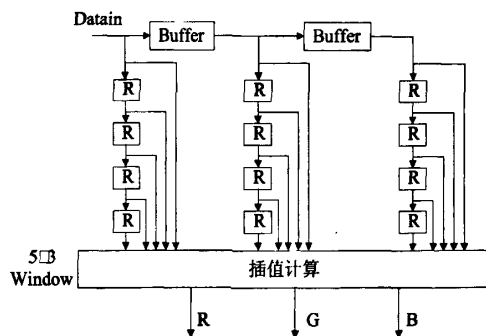


图 3 色彩复原模块结构图

在用 Verilog 硬件描述语言编写好色彩复原模块后,我们利用 Altera 公司的 quartus II 内部的嵌入式逻辑分析器 SignalTap II 在不影响设计功能的情况下来观察设计的内部信号波形,可以得到硬件实际的输出结果。从波形图可以看出结果基本满足设计要求。

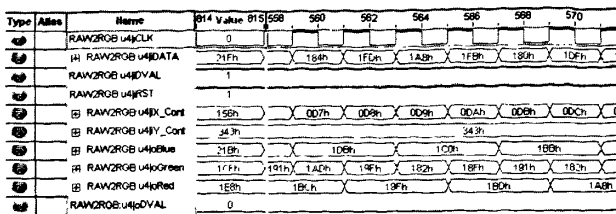


图 4 SignalTapII 测得的信号波形图

3 结果与分析

对前面介绍的三种色彩复原算法进行了插值计算,输出效果如图 5 所示。从结果图可以直观看出,信号相关插值法较前两种方法,尤其较双线性插值方法锐化了图像边缘,提高了视觉质量。



图 5 实验插值结果比较

峰值信噪比 (PSNR) 是图像处理中评价重构图像质量最常用的方法。PSNR 的计算公式如下。

$$MSE=\frac{1}{MN}\sum_{i=1}^M\sum_{j=1}^N(f_0(i,j))-f_r(i,j)^2$$
 (14)

$$PSNR=10lg(\frac{255^2}{MSE})$$
 (15)

其中 MSE 为均方误差,M 和 N 代表图像尺寸为 MN, f<sub>0</sub>(i,j)和 f<sub>r</sub>(i,j)分别代表原始图像和重构图像在第 i 行、第 j 列的强度分布。

在这里我们把彩色图像分成 R、G、B 三个通道独立比较,PSNR 反映了原始图像与重构图像相符合的程度,PSNR 越大,则两者越接近。用 PSNR 公式(15) 对以上结果图评估,结果见表 1。从表 1 中可

以看出信号相关插值法得到的图像信噪比最好,比双线性插值方法高了 5 dB。

表 1 各种插值方法的 PSNR 比较

色彩通道	PSNR/dB		
	双线性插值	梯度检测插值	相关性插值
R	27.306	30.931	32.322
G	30.012	33.256	35.665
B	27.535	31.011	32.172

4 结论

在利用 FPGA 进行图像采集系统中的色彩复原时,我们采用了 Altera 公司的 Cyclone II EP2C35F672C6 芯片,利用其丰富的内部硬件资源和并行处理的优势,实时、准确地完成了色彩复原的工作。同时我们对滤波窗口进行了改进,用 2 个行缓存代替了传统的大容量存储单元,利用改进后的仅使用 5×3 处理窗口的相关性插值法恢复的彩色图像边缘清晰、平滑,而且节省了大量的硬件资源,从而在图像质量和硬件开销及处理速度之间取得了平衡,满足了图像采集系统的要求。

参考文献

[1] B.E.Bayer, Eastman Kodak Company. Color Imaging Array[P]. US.Patent 39,710,651,975.  
[2] 傅俊诚. 基于 FPGA 的数字视频摄像系统的研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士论文,2005  
[3] Sakamoto T,Nakanishi C,Hase T. Software Pixel Interpolation for Digital Still Cameras Suitable for a 32-bit MCU [J]. IEEE Trans. on Cmsumer Electronics, 1998,44:1342-1352.  
[4] Hibbard R H. Apparatus and Method for Adaptively Interpolating a Full Color Image Utilizing Luminance (下转第 56 页)

### 3 结 论

超声清洗和 UV 光清洗是玻璃表面处理方法之一,本文针对 FED 金属薄膜电极与玻璃基底之间附着力的特性,提出一种超声清洗和 UV 清洗相结合的清洗技术来处理 FED 金属薄膜电极表面污染物,它对电极质量有很大影响,并直接影响着所制备的场致发射显示器性能稳定性。实验表明,FED 金属薄膜电极在频率 32kHz 超声清洗 10min,UV 清洗 5min 后,电极表面干净,无尘埃和有机污染物,金属膜层不脱落,显示器场发射性能稳定,是 FED 显示器金属电极表面处理的有效方法。

#### 参考文献

- [1] Talin A. A.,Dean K. A.,Jaskie J. E.. Field emission displays: a critical review [J].Solid-State Electronics, 2001,45,(6):963-976.
- [2] Guo T.L.,Huang Z.W.,Wu X.K., et al. Novel 20 - inch color field emission display prototype [A] .SID'00 Digest [C].California:Society for Information Display ,2000: 416-419.
- [3] 陈从贵,周先汉,肖东.导电薄膜玻璃基底的清洗工艺设计 [J].新技术新工艺,1995,4: 41.
- [4] 刘承桓.液晶显示器的清洗技术(二)[J].洗净技术,2004,2(4):38-43.
- [5] Lamminen M.O., Walker H.W., Weavers L.K. Mechanisms and factors influencing the ultrasonic cleaning of particle-fouled ceramic membranes [J]. Journal of Membrane Science,2004,237:213-223.
- [6] Niemczewski B.. Estimation of the suitability of selected organic solvents for ultrasonic cleaning [J].Ultrasonics Sonochemistry,1999,6(3):149-156.
- [7] Tominaga M.,Hirata N.,Taniguchi I.UV-ozone dry-cleaning process for indium oxide electrodes for protein electrochemistry [J].Electrochemistry

(上接第 51 页)

Gradients[P]. US. Patent5,382,976

- [5] Laroche C A. Apparatus and Method for Adaptively Interpolating a Full Color Image Utilizing Chrominance Gradients[P]. U.S. Patent 5,373,322
- [6] Kakarala R,Baharav Z. Adaptive Demosaicing with the Principal Vector Method [J]. IEEE Trans on Consumer Electronics.2002,48(4):932-937
- [7] Hirakawa K, Parks T W. Adaptive Homogeneity-

Communications 2005,(7):1423-1428.

- [8] Fekrsanati F.,Hildenhagen J.,Dickmann K.,et al. UV-laser radiation: basic research of the potential for cleaning stained glass [J].Cult Heritage 2000, (1): S155-S160.
- [9] Choi K., Eom T.J., Lee C.. Comparison of the removal efficiency for organic contaminants on silicon wafers stored in plastic boxes between UV/O<sub>3</sub> and ECR oxygen plasma cleaning methods [J]. Thin Solid Films, 2003,435,(1-2):s 227-231.
- [10] Li C., Hsieh J.H., Cheng J.C.. Modeling and parameter analysis of plasma cleaning [J]. Surface and Coatings Technology,2006,200,(10):3370-3375.
- [11] 孟振庭.超声清洗及其空化理论的新进展[J].渭南师范学院学报,2002,17(5):20-21.
- [12] Niemczewski B. Observations of water cavitation intensity under practical ultrasonic cleaning conditions [J].Ultrasonics Sonochemistry,2007,(14):13-18.
- [13] 沈建中.超声清洗技术及其应用[J].洗净技术,2003,(1): 16-20.
- [14] 鲍善惠,陈玲.超声清洗的原理及最新进展[J].陕西师范大学继续教育学报(西安),2004,21(2):107-109
- [15] Choi K.,Ghosh S.,Lee C.M.,et al. Removal efficiency of organic contaminants on Si wafer by dry cleaning using UV/O<sub>3</sub> and ECR plasm [J].Applied surface science, 2003,206:355-364.
- [16] 李新贝,张方辉.COG 制程中的紫外光清洗工艺研究[J].现代显示,2006,(69):45-48.
- [17] 黄超.LCD 产业的紫外光技术应用与辐射防护[J].环境保护科学,2003,115(29):52-54.

作者简介:许华安(1983-),男,福建漳州人,硕士研究生,参与国家 863"十五"平板显示重大专项和福建省科技厅重大专项工作,主要进行了场致发射显示器显示面板制备工艺研究,E-mail:huaan2007@yahoo.com.cn。

Directed Demosaicing Algorithm [J]. IEEE Trans.on Image processing.2005,14(3):360-369

[8] ~ [9] 略

作者简介:赵釜(1983-),男,硕士研究生,主要从事光电成像技术及系统研究,E-mail:iamzf015@yahoo.com.cn。

# 图像采集系统中色彩复原模块的FPGA实现

作者: 赵釜, 杜晓晴, 金珠, 张静, ZHAO Fu, DU Xiao-qing, JIN Zhu, ZHANG Jing  
作者单位: 赵釜, 杜晓晴, 金珠, ZHAO Fu, DU Xiao-qing, JIN Zhu(重庆大学光电工程学院, 重庆400030; 重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆400030), 张静, ZHANG Jing(重庆大学光电工程学院, 重庆, 400030)  
刊名: 现代显示  
英文刊名: ADVANCED DISPLAY  
年, 卷(期): 2009, ""(4)  
被引用次数: 0次

## 参考文献(7条)

1. B E Bayer [Eastman Kodak Company. Color Imaging Array](#)
2. 傅俊诚 [基于FPGA的数字视频摄像系统的研究](#)[学位论文] 2005
3. Sakamoto T, Nakanishi C, Hase T [Software Pixel Interpolation for Digital Still Cameras Suitable for a 32-bit MCU](#) 1998
4. Hibbard R H [Apparatus and Method for Adaptively Interpolating a Full Color Image Utilizing Luminance Gradients](#)
5. Laroche C A [Apparatus and Method for Adaptively Interpolating a Full Color Image Utilizing Chrominance Gradients](#)
6. Kakarala R, Baharav Z [Adaptive Demosaicing with the Principal Vector Method](#) 2002(04)
7. Hirakawa K, Parks T W [Adaptive Homogeneity-Directed Demosaicing Algorithm](#) 2005(03)

## 相似文献(1条)

1. 学位论文 赵釜 [基于Cyclone II 系列FPGA的图像实时采集与预处理系统研究](#) 2009

图像采集处理系统是用设备来捕获客观世界的图像和特征,其主要是完成图像信号的采集、处理、存储等功能。图像采集处理系统在当今工业、军事、医学等领域都有着极其广泛的应用。基于现场可编程门阵列FPGA(Field Programmable Gate Array)的图像处理系统正得到人们日益广泛的重视与研究。FPGA是当今运用极为广泛的可编程逻辑器件,具有很强的动态配置灵活性,能在设计上实现硬件并行和流水线技术,具有处理速度快、处理系统通用性与可移植性强的明显优势,非常适合视频图像的实时处理。

国内目前正陆续开展基于FPGA的图像处理系统的研究,但在硬件平台的设计、逻辑与输入输出接口资源的搭配以及处理算法的优化等问题上,与国外还有较大差距。在这样的背景下,首先本文采用高性能Cyclone II 系列的FPGA芯片作为图像处理系统的核心,配合MICRON公司的数字CMOS图像传感器和PSC公司的SDRAM存储芯片来构建图像采集处理系统;然后在总体设计的基础上,通过研究系统接口控制、资源分配技术与算法处理模块,搭建了基于FPGA的图像采集处理系统,实现对视频图像的实时采集、存储、预处理与显示。

本文详细分析了系统中不同功能模块的工作原理、数据通信特点以及设计要求。在此基础上,结合FPGA的流水线技术和并行处理的编程思想,在Quartus II 8.0 可编程逻辑器件开发平台上,本文采用Verilog硬件描述语言具体设计并实现了:图像采集模块、色彩复原模块、图像存储控制模块(SDRAM控制器)以及VGA显示控制模块。然后采用Quartus II 8.0自带的嵌入式逻辑分析仪并结合示波器来观测和分析了设计结果,通过反复的调试,最终达到了系统设计要求。

在图像预处理算法上,着重分析了采用中值滤波来进行图像降噪的基本原理和算法特征,结合实时处理速度和节省系统资源的要求,选取了一种改进型的快速中值滤波算法,并在FPGA平台上进行了硬件实现与结果测试。最后利用Quartus II 自带的功率分析工具(Power play early estimation)分析了整个系统的功耗情况,给出了降低功耗的一些途径。同时分析了整个系统的资源消耗情况,结果表明本系统只消耗了很小一部分硬件资源,这为后续的图像处理提供了条件。

关键词: FPGA, 图像采集与预处理系统, 中值滤波, Verilog硬件描述语言

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_xdxx200904010.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xdxx200904010.aspx)

授权使用: 陕西理工大学(sxlgxy), 授权号: c0ec948e-d0da-4e56-81e4-9df201146431

下载时间: 2010年9月15日