

基于 FPGA 的 Bayer 格式彩色图像恢复系统研究

王渊博^{1,2,3}, 胡永辉², 高 伟¹, 杨建峰¹

(1 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119;

2 中国科学院 国家授时中心, 陕西 西安 710600; 3 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 利用快速发展的 FPGA 技术, 在数码摄影系统前端对 Bayer 格式图像进行实时彩色图像复原. 对比了几种插值算法, 并结合 PSNR 选取最佳插值算法. 本系统中使用的改进 Bayer 插值算法, 仅用到加法和移位算法, 所以硬件实现起来非常容易, 同时也提高了系统的实时性. FPGA 作为主控芯片, 结构简单, 可编程性强, 使整个系统具有较大的灵活性.

关键词: 可编程门阵列; 峰值信噪比; Bayer 格式; 插值算法

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)10-0077-04

The Research of Bayer Format Color Image Recovery System Based on FPGA

WANG Yuan-bo^{1,2,3}, HU Yong-hui², GAO Wei¹, YANG Jian-feng¹

(1 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710119, China;

2 National Time Service Center of CAS, Xi'an 710600, China; 3 Graduate School of CAS, Beijing 100039, China)

Abstract: In front of digital cameras system, to Bayer format image real-time color restoration with the rapid development of FPGA techniques. Comparison of several interpolation algorithm and PSNR for selecting the best interpolation algorithm. The improved Bayer interpolation algorithm was only used addition and shift algorithm in the system, so the hardware realization is very easy and improves the system real-time. FPGA as the master control chip, has the advantages of simple structure and programmable, so that the whole system has great flexibility.

Key words: FPGA; PSNR; Bayer format; interpolation algorithm

1 引言

探月工程二期将首次实现我国地外天体的软着陆, 使我国掌握深空探测和空间科学领域的核心技术, 获得月球及地月空间的科学数据. 全景相机作为巡视探测器的重要载荷之一, 将和其它载荷互相配合, 共同完成月表形貌与地质构造调查的科学目标, 因此获取高质量的月面图像, 对整个科学探测过程是至关重要的. 一般, 数字相机由光学镜头、图像传感器、图像处理模块、终端显示模块组成^[1-6]. 其中图 1 所示的相机结构应用最为广泛, 与 3CCD/CMOS 彩色相机相比, 其具有结构简单, 成本低廉

等优点.

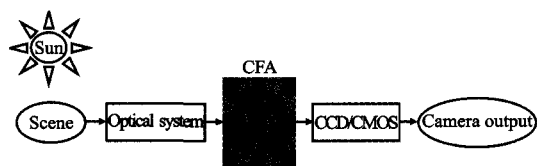


图 1 单 CCD/CMOS 彩色相机结构

感光芯片是相机的最关键部件之一, 主要分为两类: CCD 和 CMOS, 它们都是利用感光二极管 (photodiode) 进行光信息到电信号的转换, 将图像信息转为数字信息, 数据的传送方式不同是其两种感光芯片的主要差异^[7-9].

收稿日期: 2012-12-18; 修回日期: 2012-02-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60808028)

2 插值方法

为了通过相机获取彩色图像,通常是在 CCD/CMOS 感光芯片表面镀一层只含红、绿、蓝三色且按一定方式排列的马赛克膜,对其输出数据采用一定插值算法来获取彩色图像,因为这种方法最先由 Bayer 提出,所以这种膜又叫 Bayer 滤镜^[8].

通常彩色复原的插值算法可以分为两类:利用单个颜色通道进行插值为第一类;利用多个颜色通道之间的相关性进行插值为第二类^[9],这类算法充分利用了各个颜色通道之间的相关性以及图像边缘的细节信息,插值效果得到显著改善,本系统采用的算法就属于后者.

2.1 双线性插值方法

双线性插值方法利用单个颜色通道信息进行独立插值,忽略了图像的大部分细节信息和三个颜色通道之间的相关性,因此特别容易在图像的高频区域产生锯齿形图案,即通常所说的“伪彩色”.

在图 2 中, R_7 处只有 R 分量,则 G 、 B 分量由下式计算:

$$G_7 = \frac{G_3 + G_6 + G_8 + G_{11}}{4} \quad (1)$$

$$B_7 = \frac{B_2 + B_4 + B_{10} + B_{12}}{4} \quad (2)$$

了解双线性插值方法对于设计新的插值算法有一定的参考价值,且具有对比与评价的作用.其一般都是对图像开 3×3 的窗口进行处理.

R	G	R_1	G	R
G	B_2	G_3	B_4	G
R_5	G_6	R_7	G_8	R_9
G	B_{10}	G_{11}	B_{12}	G
R	G	R_{13}	G	R

图 2 Bayer 结构图

2.2 Cok 的常色调方法

Cok 插值法是在双线性插值算法恢复出绿色分量的基础之上,进而得到整幅图像的绿色分量,再利用规则色比规则来恢复 R 和 B 通道的信息^[10].又由于 Mondriaan 模型,若像素点 (i, j) 和 (m, n) 邻近则有下面两等式.式(3)和式(4)同时成立:

$$R_{ij}/G_{ij} = R_{mn}/G_{mn} \quad (3)$$

$$B_{ij}/G_{ij} = B_{mn}/G_{mn} \quad (4)$$

在图 2 中, R_7 处 B 分量由下式计算:

$$B_7 = G_7(B_2/G_2 + B_4/G_4 + B_{10}/G_{10} +$$

$$B_{12}/G_{12})/4 \quad (5)$$

Cok 插值法认为,对图像开的 3×3 窗口内色彩都很接近,所以在色调变化平缓的区域内都能得到较满意的效果,在色调突变的地方还是会产生伪彩色.

2.3 本文的插值方法

一幅图像的 R 、 G 、 B 三个颜色之间的信息是相关联的,可以用这种关系来获取图像的颜色信息.为了得到这些信息,我们设计出如下的模型,假设一个像素和它旁边的像素相关联,定义 K_R 和 K_B 如式(6)和式(7):

$$K_R = G - R \quad (6)$$

$$K_B = G - B \quad (7)$$

如图 2 所示,为得到 R_7 处的 G 值,首先计算它周围 K_R 的值 K_{R3} , K_{R6} , K_{R8} 和 K_{R11} . 因为不知道 R_7 周围 R 的值,所以 K_R 的值不能直接计算得到,事实上这里 R 的值是通过估计得到的.例如利用 R_1 和 R_7 的均值来估计 R_3 的值,利用 R_5 和 R_7 的均值来估计 G_6 处 R 的值,结果如式(8)、(9)所示:

$$K_{R3} = G_3 - R_3 = G_3 - \frac{1}{2}(R_1 + R_7) \quad (8)$$

$$K_{R6} = G_6 - R_6 = G_6 - \frac{1}{2}(R_5 + R_7) \quad (9)$$

依次可以得到 K_{R8} 和 K_{R11} .

用此方法插值时,先进行绿色插值,即在 R 处和 B 处进行绿色插值, R 插值结果如式(10)所示, B 插值结果可仿照式(10)进行计算得出;然后,在 R 处进行 B 插值,在 B 处进行 R 插值, R 处进行 B 插值结果如式(11)所示;最后,在 G 处进行 R 插值和 B 插值, G_3 处 R 插值如式(12)所示.

$$G_7 = R_7 + \frac{1}{4}(K_{R3} + K_{R6} + K_{R8} + K_{R11}) \quad (10)$$

$$B_7 = G_7 - \frac{1}{4}(K_{B2} + K_{B4} + K_{B10} + K_{B12}) \quad (11)$$

$$R_3 = G_3 - \frac{1}{2}(K_{R1} + K_{R7}) \quad (12)$$

2.4 各种算法对比与评价

图像处理中评价重构图像质量最常用的两种方法:均方根误差(MSE)与峰值性噪比(PSNR)^[11].在本文当中只对图像的峰值性噪比作比较.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_0(i, j) - f_r(i, j))^2 \quad (13)$$

$$PSNR = 10 \times \lg\left(\frac{255^2}{MSE}\right) \quad (14)$$

各种算法针对图3的PSNR值如表1所示。

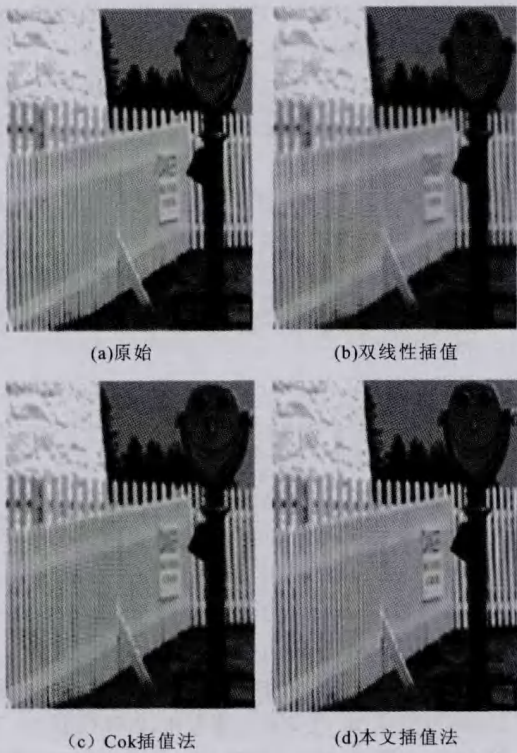


图3 各种插值效果比较
表1 峰值性噪比(PSNR/dB)比较

三通道	BL	CK	本文插值法
PSNR-R	21.132	24.652	31.856
PSNR-G	26.512	26.591	36.414
PSNR-B	21.483	24.281	32.236

3 系统硬件设计

3.1 系统总体设计

本系统最关键的部件之一FPGA,作为系统的大脑中枢起着十分重要的作用,控制着整个系统的工作.其工作过程如下:(1)系统加电后,由I²C模块完成对感光芯片的初始化配置,其主要调整图像的分辨率、帧频及曝光参数等.(2)配置完成后,当FPGA收到采集命令后,将从感光芯片传来的图像信号和控制信号送进Capture模块,筛选有用的数据将其送进RAW2RGB模块,对其利用本文插值算法进行插值处理.(3)将插值处理后的数据送进RGB2YCbCr模块,最终得到图像的亮度信息存入到存储模块.存储模块主要用于读写SDRAM的两个带,分别为Bank0和Bank1,并在两个Bank之间进行读写切换.输出当前帧的有效阈值后,再读出存储在Memory模块中的亮度数据,在Compare模块

中进行比较后,把二值化的结果送至VGA模块供VGA显示器显示.图4为系统的总体设计框图.

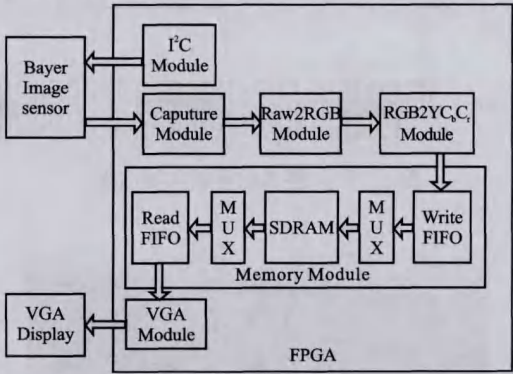


图4 系统的总体设计框图

3.2 RAW2RGB模块的设计

结合式(10)、(11)、(12),该模块的硬件实现框图如图5所示.当输入数据有效时,Raw格式的数据依次通过Buffer1, R44, R43, R42, R41, R40; Buffer2, R34, R33, R32, R31, R30; Buffer3, R24, R23, R22, R21, R20; Buffer4, R14, R13, R12, R11, R10; Buffer5, R04, R03, R02, R01, R00;缓存送入MUX单元,然后利用本文中拟采用算法得到最终的RGB数据.

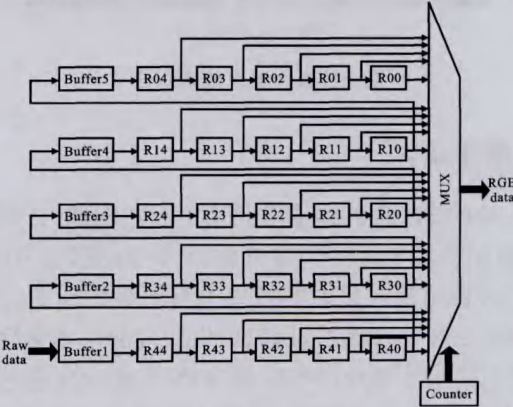


图5 RAW2RGB模块的硬件实现框图

为了时序需要,定义两个输入信号lid和pid,当lid和pid为低逻辑时,红色像素被输进datain信号;当lid为0而pid为1时,绿色像素被输进datain信号;当lid为1而pid为0时,绿色像素被输进datain信号;当lid为1而pid为1时,蓝色像素被输进datain信号.而且lid应该在act_sync周期内改变为0,如图6所示.

4 复原结果

采用本文提出的插值法复原后的效果图如图7所示.

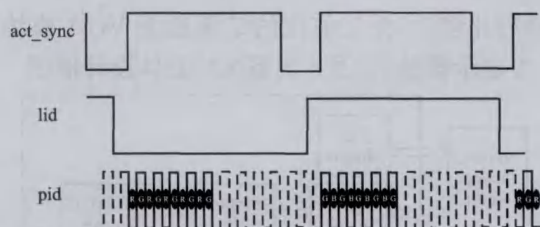


图6 Raw 格式信号输入时序图



(a)原始



(B)彩色复原后的图

图7 彩色复原效果对比

5 结束语

本系统采用的插值法利用了彩色图像的边缘特性,更精确地复原了边缘处的 R、G、B 值,比双线性和 Cok 插值法在复原的效果上有明显的改善,其仅用到加法和移位算法,所以硬件实现起来非常容易,同时也提高了系统的实时性。FPGA 作为主控芯片,结构简单,可编程性强,使整个系统具有较大的灵活性。

参考文献:

- [1] 詹海萍,鲍贻,田维坚. 基于 Bayer 格式的图像压缩方法[J]. 科学技术与工程,2006(24):3959-3961.
- [2] 崔巍,汶德胜,马涛. 基于彩色 CMOS 图像传感器的图像压缩预处理系统的设计[J]. 科学技术与工程,2006(10):1387-1392.
- [3] 付伟,顾晓东,江源源. 基于人眼视觉特性的彩色图像质量评价[J]. 微电子学与计算机,2010,27(2):59-67.
- [4] 张灵,余永权,曾碧. MLM 形态神经网络在彩色图像恢复中的应用[J]. 微电子学与计算机,2007,24(8):63-68.
- [5] Malvarhs, He L W, Cutler R. High quality linear interpolation for demosaicing of Bayer2patterned color images[C]// IEEE IntL Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Montreal, Canada,2004.
- [6] Fan Bu. A novel weighted edge-directed and weighted-color-difference interpolation for demosaicking bayer-pattern color images [J]. Journal of Information & Computational Science,2012(7):1781-1794.
- [7] 王金涛,王骁男,张忠华,等. 基于 FPGA 的彩色图像 Bayer 变换实现[J]. 现代电子技术,2010(10):75-77.
- [8] 陈春宁,王延杰. 基于 TMS320DM642 BAYER 格式图像色彩复原的实现[J]. 微计算机信息,2007,23(20):145-147.
- [9] 刘方,杜平安. 基于 Bayer 彩色滤波阵列插值算法的研究[D]. 成都:电子科技大学,2006.
- [10] 彭俊,高伟. 基于 FPGA 的彩色恢复系统的研究[D]. 西安:西安光学精密研究所,2007.
- [11] 张楠,王养利. 图像去马赛克算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2009.

作者简介:

王渊博 男,(1984-),硕士研究生. 研究方向为信号与信息处理.

胡永辉 男,(1952-),研究员,博士生导师. 研究方向为光电信息处理、空中无源目标探测、自动控制等.

(上接第 76 页)

- [6] Huang G B, Siew C K. Extreme learning machine with randomly assigned RBF kernels[J]. International Journal of Information Technology,2005,11(1):16-24.
- [7] 武方方,赵银亮. 一种基于 Morlet 小波核的约简支持向量机[J]. 控制与决策,2006,21(8):848-852.
- [8] 董绍江,汤宝平,宋涛. 改进投票策略的 Morlet 小波核支持向量机及应用[J]. 震动、测试与诊断,2011,31(3):314-317.

- [9] 焦李成,周伟达,张莉,等. 智能目标识别与分类[M]. 北京:科学出版社. 2010:196-202.

作者简介:

王杰 男,(1959-),教授,博士生导师. 研究方向为模式识别与智能系统、网络信息安全.

郭晨龙 男,(1988-),硕士研究生. 研究方向为机器学习与数据挖掘.