

# CMOS 图像传感器噪声抑制方法研究

李 轩<sup>1,2</sup>, 侯正信<sup>1</sup>, 徐宏宇<sup>2</sup>, 杨爱萍<sup>1</sup>

LI Xuan<sup>1,2</sup>, HOU Zhengxin<sup>1</sup>, XU Hongyu<sup>2</sup>, YANG Aiping<sup>1</sup>

1. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072

2. 沈阳航空工业学院 电子信息工程学院, 沈阳 110034

1. School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2. School of Electronic Information Engineering, Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 110034, China

LI Xuan, HOU Zhengxin, XU Hongyu, et al. Denoise method study on CMOS image sensor. *Computer Engineering and Applications*, 2011, 47(8): 167-169.

**Abstract:** Color imaging sensors used in digital cameras acquire three spatially subsampled color channels with a Color Filter Array (CFA) mosaic. The acquired image is then processed through an imaging pipeline of demosaicing, denoising and color correction. The algorithms used in each stage of the image pipeline are complex, several processes of nonlinearity and the effect on the noise are complicated. The influence of demosaicing algorithms on the effects of denoising is discussed. This paper investigates the effects of the order of demosaic and denoise process on images and image noise. Images and noises are monitored and analyzed in each stage of the pipeline, to understand how each stage/algorithm affects and manipulates the noise characteristics. Noise characteristics are evaluated by various metrics from MSE and s-CIELAB. Ultimately, this paper gives conclusions.

**Key words:** RAW image; demosaic; denoise; s-CIELAB

**摘 要:** 数码相机中的彩色成像传感器通过彩色滤波阵列 (CFA) 在空域经降采样获取三个颜色分量, 并通过对三个颜色分量去马赛克、去噪和颜色校正等过程获得最终图像。成像过程的算法比较复杂, 尤其部分过程的非线性和噪声影响促使成像过程更趋复杂。研究去马赛克算法引入的噪声及对噪声传播的影响, 考虑去马赛克和去噪顺序不同对成像质量造成的影响, 为了更好地理解每一步成像过程如何影响和传播噪声, 对图像和噪声进行有效监测和分析, 并通过 MSE 和 s-CIELAB 来衡量噪声特性, 最后给出结论。

**关键词:** RAW 图像; 去马赛克; 去噪; s-CIELAB

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2011.08.049 文章编号: 1002-8331(2011)08-0167-03 文献标识码: A 中图分类号: TN911.73

## 1 前言

去噪和去马赛克是图像传感器成像中两个重要的环节, 噪声是影响图像传感器质量的重要指标之一, 低噪声意味着大动态范围。CMOS 相对于 CCD 图像传感器的最大不足就是噪声较高, 而且随信号变化的传感器噪声通常会被后续的图像处理 (例如计算机监视器和打印机的彩色生成) 所放大, 这种现象在低照度环境下更加明显。因此, 研究 CMOS 传感器中的噪声源和噪声抑制方法非常重要, 这也是目前成像市场倍受关注的主要问题之一。CMOS 图像传感器的噪声方差大部分随信号幅度的增加而增加, 在 CMOS 器件中, 存在固定模式噪声, 独立于信号的加性高斯噪声以及随信号变化的乘性噪声<sup>[1-2]</sup>。

$$x = s + (k_0 + k_1 s) \eta \quad (1)$$

式(1)中,  $x$  是观测到的图像,  $s$  是理想的无噪图像,  $k_0$  和  $k_1$  是常数。  $\eta$  是方差为 1 的加性高斯白噪声。许多文献对去噪问

题的研究都局限于加性高斯白噪声。数学模型为:

$$x = s + k_0 \eta \quad (2)$$

式(2)中参数和变量的含义同式(1), 显然式(2)是式(1)的特殊情形。为最小化体积和成本, 数码相机的图像是通过单片图像传感器获取的。在传感器表面涂覆一层彩色滤波阵列 (CFA), 每一像素通过抽样只能得到三种主彩色值 (比如红绿蓝) 之一。为了获取全彩色图像, 另外两种颜色通过邻域运算得到, 这一过程称为去马赛克或插值。现存文献中提出的方法是先进行插值再去噪, 插值是基于 Bayer 格式进行的, 在完成插值的同时能保持边缘的锐化特性。这类方法的缺陷是在噪声存在的情况下会形成伪边缘结构, 因为锐化放大了高频噪声, 噪声分析变得十分复杂; 而且也没有考虑图像插值和图像去噪的先后顺序对成像性能的影响。下面给出成像分析模型、实验设计和实验结果, 并从主观和客观两个方面进行比较, 最后得出结论。

**基金项目:** 天津市自然科学基金 (the Natural Science Foundation of Tianjin of China under Grant No.08JCYBJC09600)。

**作者简介:** 李轩 (1967—), 男, 博士研究生, 副教授, 主要研究领域为光电图像处理; 侯正信 (1945—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为数字信号处理、数字图像处理、小波分析及其应用等。E-mail: lx\_ggoodd@yahoo.com.cn

**收稿日期:** 2009-11-26; **修回日期:** 2010-01-11

2 去马赛克对成像性能的影响

如果把无噪的真彩色RGB图像与去马赛克(输入为无噪Bayer格式RAW图像)后的RGB图形比较,发现去马赛克过程对成像结果造成影响,去马赛克过程相当于引入了噪声。图1是实验框图。通常,去马赛克算法能引起伪彩色,比如边缘处的拉链效应和纹理浓密处的伪彩色等。

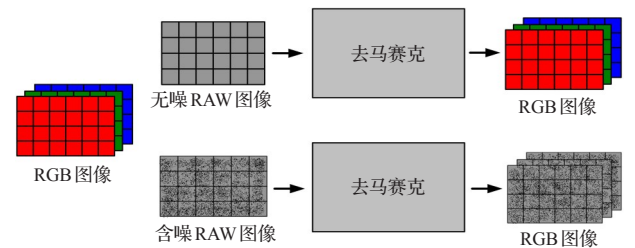


图1 去马赛克影响成像性能的实验框图

本文选择去马赛克效果良好的正交投影算法<sup>[3]</sup>,采用简单的双线性算法是为了便于比较,图2显示了这一实验过程,图(a)是原图像,图(b)是去马赛克后的图像,图(c)是二者的差值图像,由差值图像能看到图像的轮廓边缘,说明去马赛克引入了高频噪声。表1为对应图像均方误差MSE和总色差s-CIELAB测试结果,看到正交投影算法引入的色差较小。现在大部分性能优良的去马赛克算法能很好地抑制伪彩色,但所有算法很难处理水平边缘和垂直边缘的伪彩色,见图3。



图2 去马赛克影响成像性能的实验结果图像

表1 均方误差和总色差测试结果

去马赛克算法	MSE	s-CIELAB
双线性	0.238 4	2.438 5
正交投影	0.215 6	1.158 3

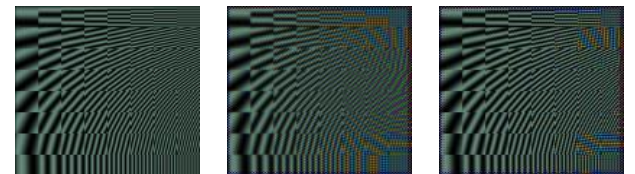


图3 不同插值方法引入伪彩色的结果图像

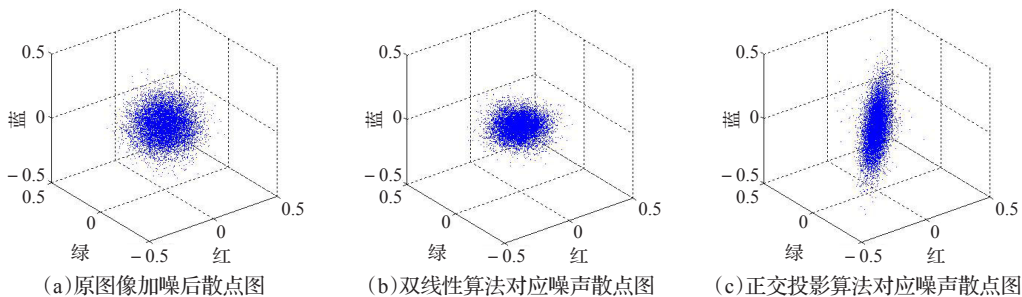


图6 去马赛克影响噪声传播的散点图

3 去马赛克对噪声传播的影响

为了研究去马赛克过程如何传播噪声,分别对无噪的RAW图像和有噪RAW图像进行去马赛克,然后对结果图像进行比较。图4是实验框图,对右侧的两幅终端图像进行比对。图5分别是无噪RAW图像、含噪RAW图像及分别去马赛克后的RGB图像。图6是分析不同去马赛克算法影响噪声传播的散点图,看到去马赛克前的噪声散点图呈球状,双线性算法去马赛克后噪声散点图近似为球状,而正交投影算法对应噪声散点图呈椭球状,且具有很强的方向性,说明去马赛克改变了噪声结构,或者说将原来每一彩色通道无关的噪声变为各彩色通道相关的噪声。显然不同的去马赛克方法会产生不同的通道间的相关性。

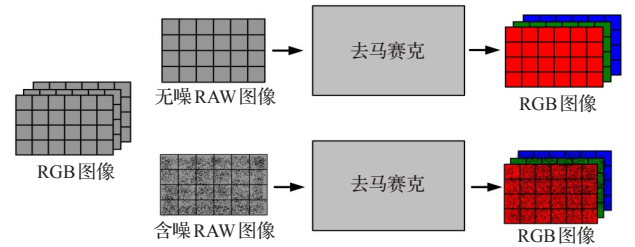


图4 去马赛克影响噪声传播的实验框图

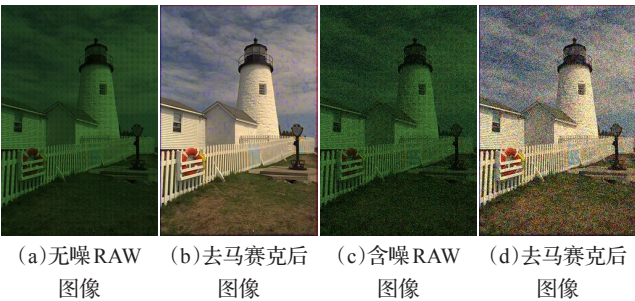


图5 去马赛克影响噪声传播的实验结果图像

4 去噪和去马赛克先后顺序对成像性能的影响

4.1 去噪-去马赛克过程

对于降噪-去马赛克过程,如图7,降噪模块的输入是一个RAW图像。而大多数降噪算法假定输入为一个3通道RGB图像,为了降噪RAW图像,这里考虑三种方案:(1)首先分解RAW图像为三颜色通道,然后降采样,获得红色、蓝色通道各一幅和绿色通道两幅,共计四幅图像,对这四幅图像分别降噪,最后上采样恢复原来RAW大小图像。(2)由于绿色通道像素数是红色或蓝色通道的两倍,降采样分解RAW图像为三个颜色通道,对于绿色通道,执行正交投影插值,大小为RAW图像大小。获取红绿蓝图像各一幅,共三幅图像,然后分别降噪,降噪后再恢复原来大小的RAW图像。(3)直接对二维RAW图像降噪。对这三种方案全部进行了分析,降噪方法采用了三种典型方案:简单线性滤波、块匹配与3D滤波<sup>[4]</sup>、双边滤波<sup>[5]</sup>,

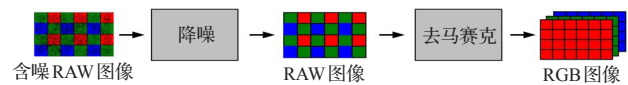


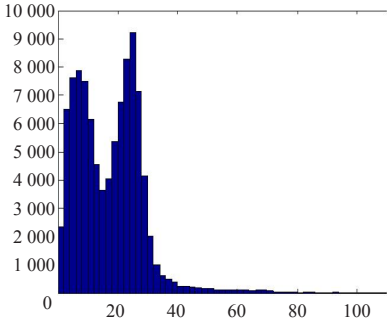
图7 去噪-去马赛克过程对成像性能影响的实验框图

选择线性滤波是为了方便比较,结果见表2。

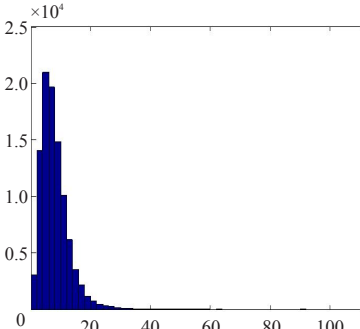
表2 降噪-去马赛克过程各种方案数据对比

		MSE		s-CIELAB	
		双线性	正交投影	双线性	正交投影
方案1	线性滤波	0.006 8	0.006 4	6.822 3	6.469 3
	块匹配与3D滤波	0.004 5	0.006 6	7.886 4	6.910 1
	双边滤波	0.004 2	0.004 6	6.359 1	5.545 6
方案2	线性滤波	0.006 3	0.006 1	7.501 4	7.116 2
	块匹配与3D滤波	0.004 5	0.006 5	7.857 9	6.919 6
	双边滤波	0.004 2	0.004 5	6.337 2	5.538 5
方案3	线性滤波	0.005 5	0.005 0	17.031 2	17.207 7
	块匹配与3D滤波	0.004 5	0.006 6	7.859 0	6.913 0
	双边滤波	0.004 2	0.004 8	7.514 8	6.898 1

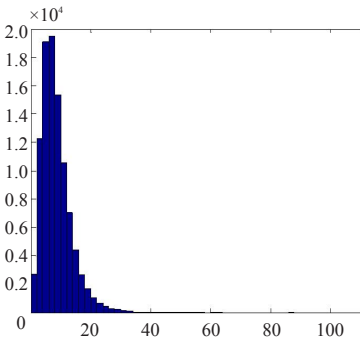
从表2中看到,方案1和方案2总体色差均匀,区别不大。方案3对去噪方法依赖性较大,比如线性滤波,由于是直接对RAW图像去噪,线性滤波较大地改变了R、G、B三通道相关性,所以最终造成很大色差,这可以从色差图像的直方图中得到答案,例如插值取正交投影方法,线性滤波较其他两种去噪方法相比,色差图像直方图结构明显不同,见图8,含有两个峰值。



(a)线性滤波



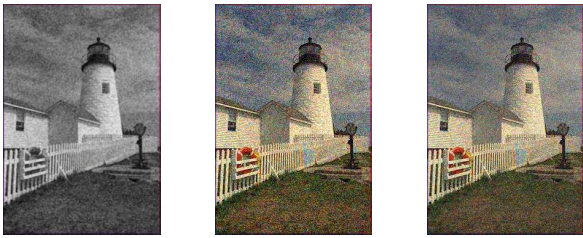
(b)块匹配与3D滤波



(c)双边滤波

图8 方案3对应正交投影算法色差图像的直方图

去噪前去马赛克似乎更直观,但大多数去噪算法针对RGB图像所对应的灰度图像而不是RAW图像。这已成为一个问题,因为它需要处理RAW数据,以配合RGB格式。找到一个算法,直接对RAW图像降噪或发展这种算法将是一个挑战。图9是与图8对应的结果图像,显然,线性滤波引入更大色差,基本看不到彩色。



(a)线性滤波 (b)块匹配与3D滤波 (c)双边滤波

图9 方案3对应正交投影算法的色差图像

4.2 去马赛克-去噪过程

对于去马赛克-降噪过程,实验框图见图10,实验数据见表3,看到引入色差较小的是双边滤波。

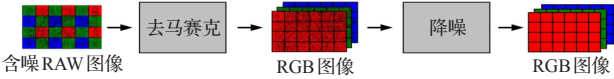


图10 去马赛克-去噪过程对成像性能影响的实验框图

表3 去马赛克-降噪过程实验数据

	MSE		s-CIELAB	
	双线性	正交投影	双线性	正交投影
线性滤波	0.004 5	0.004 1	7.884 3	7.196 9
块匹配与3D滤波	0.003 9	0.006 1	7.204 5	6.378 2
双边滤波	0.003 2	0.004 4	6.067 8	5.485 5

限于篇幅,处理后的结果图像不再列出来。

5 结论

重点讨论了CMOS图像传感器成像过程中去马赛克和去噪对成像质量的影响,去马赛克本身改变三颜色通道的相关性,相当于引入噪声,并且改变输入噪声的结构,对噪声传播有明显的影响;除了采用线性滤波对RAW图像直接去噪以外,去噪和去马赛克先后顺序不同对成像质量影响不大;对RAW图像降采样去噪再去马赛克成像流程,成像效果最好,对应正交投影去马赛克算法引入色差噪声最小。

参考文献:

[1] Tian H, Fowler B, Gamal A E. Analysis of temporal noise in CMOS photodiode active pixel sensor[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2001, 36(1): 92-101.

[2] Hirakawa K, Parks T W. Image denoising using total least squares[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(9): 2730-2742.

[3] Gunturk B K, Altunbasak Y, Mersereau R M. Color plane interpolation using alternating projections[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(9): 997-1013.

[4] Dabov K, Foi A, Katkovnik V, et al. Image denoising with block-matching and 3D filtering[C]//Dougherty E R, Astola J T, Egiazarian K O, et al. Proceedings of SPIE-Image Processing: Algorithms and Systems, Neural Networks, and Machine Learning, San Jose, CA, USA, Jan 16-18, 2006. Bellingham, WA, USA: SPIE Press, 2006.

[5] Chen J, Paris S, Durand F. Real-time edge-aware image processing with the bilateral grid[J]. ACM Transactions on Graphics, 2007, 26(3).