

文章编号 1004-924X(2014)02-0481-08

## Bayer 彩色序列图像的电子稳像

孙 辉\*

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室, 吉林 长春 130033)

**摘要:**提出了一种适合 Bayer 彩色序列图像的电子稳像方法。该方法根据 Bayer 彩色图像特点,通过色彩还原和 RGB 至 YCbCr 颜色空间的变换,将 Bayer 彩色图像转换为灰度图像。采用灰度投影算法估计两幅图像之间的运动量;通过计算灰度图像在水平和垂直方向的投影特征数据,构造当前图像和参考图像投影数据之间的相关函数;依据最小误差匹配准则,估计两幅图像之间的水平和垂直位移量。为解决传统补偿算法在处理奇数运动量时的颜色失真问题,基于双线性插值算法构建了适合 Bayer 彩色图像的运动补偿算法。最后,对 Bayer 彩色序列样本图像进行了色彩还原和图像稳定实验。结果表明,本文方法可以实现像元级运动量检测,运动补偿后的序列图像峰值信噪比优于 40 db。实验显示,本文方法可行且有效,适合 Bayer 彩色序列图像的运动估计和运动补偿,可以实现序列图像的稳定输出。

**关键词:**Bayer 彩色视频序列图像;电子稳像(EIS);色彩还原;运动估计;运动补偿

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20142202.0481

## Electronic image stabilization for Bayer color video sequence image

SUN Hui\*

(Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

\* Corresponding author, E-mail: sunh@ciomp.ac.cn

**Abstract:** A novel method for Electronic Image Stabilization (EIS) of Bayer color video image sequence was proposed. On the basis of the characteristics of Bayer color image, it converted firstly the Bayer color image into a gray image by using demosaicing and converting RGB into YCbCr. Then, the motion estimation algorithm based on gray scale projection was used to estimate the translation parameter between current frame and reference frame, in which the gray scale projection curves of horizontal and vertical directions of the gray image well reflected the feature of gray distribution in the corresponding direction, and the translation parameters could be obtained via cross correlation function of the gray scale projection curves. In order to resolve the problems of mismatch-color when translation was odd, the motion compensation algorithm based on the bilinear interpolation was applied to compensation of the translation of current frame. Finally, the demosaicing and image stabilization for the Bayer image sequence were performed. The experimental results for video sequences show that the proposed method can implement image detection in a pixel level, and can achieve higher stabilization accuracy with a peak signal to noise ratio of 40 db. It is efficient and suited for the motion estimation and compensa-

**收稿日期:**2013-10-11;**修订日期:**2013-11-09.

**基金项目:**国家 973 重点基础研究发展计划资助项目(No. 2009CB72400607);国防预研基金资助项目(No. 402070301);国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2008AA121803)

tion for Bayer color video image sequences.

**Key words:** Bayer color video sequence image; Electronic Image Stabilization (EIS); demosaicing; motion estimation; motion compensation

## 1 引言

在机载、车载、船载等动基座成像系统中,载体振动、气流扰动等不利因素会使成像设备输出的视频序列图像出现不规则的抖动、模糊现象,这将严重影响目标观察、跟踪和识别。视频序列图像的稳像技术就是消除成像系统中由于相机与目标景物之间相对运动造成的影响,实现序列图像的稳像输出。视频图像稳像技术经历了从机械稳像、光学稳像到电子稳像的 3 个阶段<sup>[1]</sup>。近年来,随着电子技术、图像处理技术的进步和发展,电子稳像技术在工业检测、医疗探查、治安监测及军事侦察等领域都得到了广泛应用,已成为现代稳像技术的主要发展方向,也是国内外专家学者研究的热点之一。

现有的视频序列图像稳定的研究成果大多是针对灰度图像和 RGB 彩色图像的电子稳像和运动矢量检测<sup>[2-5]</sup>。而对于目前广泛使用的 Bayer 彩色 CCD 相机输出的彩色序列图像如何实现图像稳像未见相关报道。与黑白 CCD 和 3-CCD 彩色相机不同,Bayer 彩色 CCD 相机是一种单 CCD 相机。它在 CCD 像素位置分别存放红色、绿色和蓝色滤镜,即彩色滤波阵列(Color Filter Arrays, CFA),使用单个传感器同时对 3 个彩色分量进行采集。因此,在 Bayer 彩色图像中,每个像素只有红色、绿色和蓝色 3 个分量中的一个分量,其数据量和信息量是全彩色图像的 1/3。由于上述结构特点,Bayer 彩色 CCD 输出图像的像元分布与灰度图像和 RGB 彩色图像都有所不同。在实际应用中,需要通过色彩还原<sup>[6-8]</sup>、图像白平衡<sup>[9-11]</sup>等相关算法复原彩色图像。传统的灰度图像和 RGB 彩色序列图像稳像方法由于算法本身的局限性,不能解决 Bayer 彩色序列图像的运动估计和运动补偿问题。因此,如何构建 Bayer 彩色序列图像的电子稳像方法,实现图像的稳像输出,是目前迫切需要解决的新问题。

本文根据 Bayer 彩色序列图像的特点,提出了一种适合 Bayer 彩色序列图像的电子稳像新方

法。该方法通过 Bayer 彩色图像色彩还原和 RGB 到 YCbCr 颜色空间变换,将 Bayer 彩色图像转换为灰度图像。然后,采用灰度投影算法估计图像运动量,并通过计算灰度图像在水平和垂直方向的投影特征数据,构造投影数据相关函数;依据最小误差匹配原则,估计序列图像位移量。最后,通过建立运动补偿模型,在双线性插值算法的基础上构建了运动补偿算法,通过图像运动补偿实现了 Bayer 彩色序列图像的稳像输出。

## 2 Bayer 彩色图像运动估计

### 2.1 色彩还原-Bayer 彩色空间到 RGB 颜色空间变换

单 CCD 相机通过 CFA 获取图像的颜色信息,根据 CFA 的不同排列,可将其分成 BGGR、GBRG、GRBG 和 RGGG 4 种格式,如图 1 所示。由于通过 CFA 获取的 Bayer 彩色图像在每个像素点只有一种颜色信息,因此,需要通过色彩还原恢复缺失的另外 2 种颜色信息。色彩还原将 Bayer 彩色变换到 RGB 颜色空间。

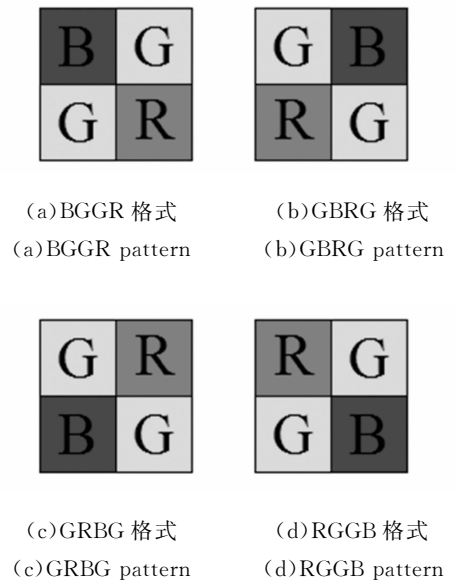


图 1 Bayer 彩色图像的 4 种格式

Fig. 1 Four possible patterns of Bayer color image

目前,关于 Bayer 彩色图像色彩还原的研究成果很多,本文以 RGGB 格式图像为例,简要介绍了 2 种典型的  $2 \times 2$  邻域还原法和  $3 \times 3$  邻域还原法。颜色分量分布如图 2 所示,图 2(a)、图 2

(b)和图 2 (c)分别表示红、绿、蓝分量的插值邻域分布,其中,有文字的颜色网格表示已知颜色分量,无文字的颜色网格表示需要还原的颜色分量,阴影网格表示与当前块色彩还原无关的网格。

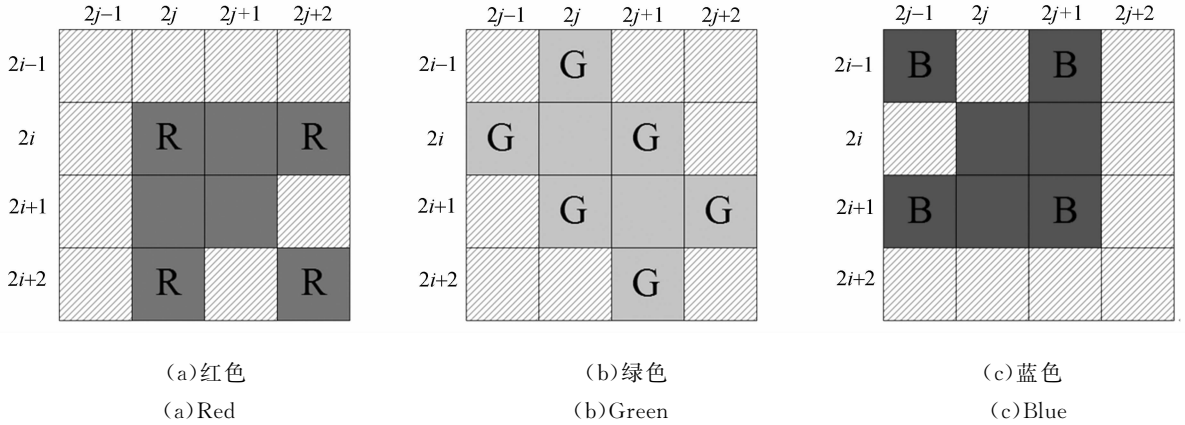


图 2 色彩还原邻域示意图

Fig. 2 Schematic of neighborhood for color reproduction

$2 \times 2$  邻域还原法一般称为像素复制插值 (Pixel Doubling Interpolation),其基本特征是“复制”,即通过复制  $2 \times 2$  块内的颜色分量,实现缺失的颜色分量的色彩还原。其优点是算法简单、计算量小,缺点是在图像细节和边缘处有明显的“锯齿效应”。

$2 \times 2$  邻域还原法的颜色分量计算公式如下:

$$\begin{cases} r_{2i,2j} = R_{2i,2j} \\ r_{2i,2j+1} = R_{2i,2j} \\ r_{2i+1,2j} = R_{2i,2j} \\ r_{2i+1,2j+1} = R_{2i,2j} \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} g_{2i,2j} = G_{2i,2j+1} \\ g_{2i,2j+1} = G_{2i+1,2j} \\ g_{2i+1,2j} = G_{2i,2j+1} \\ g_{2i+1,2j+1} = G_{2i+1,2j} \end{cases}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} b_{2i,2j} = B_{2i+1,2j+1} \\ b_{2i,2j+1} = B_{2i+1,2j+1} \\ b_{2i+1,2j} = B_{2i+1,2j+1} \\ b_{2i+1,2j+1} = B_{2i+1,2j+1} \end{cases}. \quad (3)$$

$3 \times 3$  邻域还原法一般称为双线性插值 (Bilinear Interpolation),其基本特征是“插值”,即对缺失的颜色分量使用双线性插值实现色彩还原。与  $2 \times 2$  邻域还原法相比,该方法的优点是在图像细节和边缘处的还原效果较好,缺点是增加

16 次加法运算和 8 次除法运算,计算量较大。

$3 \times 3$  邻域还原法的颜色分量计算公式如下:

$$\begin{cases} r_{2i,2j} = R_{2i,2j} \\ r_{2i,2j+1} = \frac{1}{2}(R_{2i,2j} + R_{2i,2j+2}) \\ r_{2i+1,2j} = \frac{1}{2}(R_{2i,2j} + R_{2i+2,2j}) \\ r_{2i+1,2j+1} = \frac{1}{4}(R_{2i,2j} + R_{2i,2j+1} + R_{2i+2,2j} + R_{2i+2,2j+2}) \end{cases}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} g_{2i,2j} = \frac{1}{4}(G_{2i-1,2j} + G_{2i,2j-1} + G_{2i,2j+1} + G_{2i+1,2j}) \\ g_{2i,2j+1} = G_{2i,2j+1} \\ g_{2i+1,2j} = G_{2i+1,2j} \\ g_{2i+1,2j+1} = \frac{1}{4}(G_{2i,2j+1} + G_{2i+1,2j} + G_{2i+1,2j+2} + G_{2i+2,2j+1}) \end{cases}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} b_{2i,2j} = \frac{1}{4}(B_{2i-1,2j-1} + B_{2i-1,2j+1} + B_{2i+1,2j-1} + B_{2i+1,2j+1}) \\ b_{2i,2j+1} = \frac{1}{2}(B_{2i-1,2j+1} + B_{2i+1,2j+1}) \\ b_{2i+1,2j} = \frac{1}{2}(B_{2i+1,2j-1} + B_{2i+1,2j+1}) \\ b_{2i+1,2j+1} = B_{2i+1,2j+1} \end{cases}. \quad (6)$$

## 2.2 RGB 到 YCbCr 颜色空间变换

RGB 到 YCbCr 颜色空间变换是一种线性变

换。通过该变换,原来的 R、G、B 分量变换为亮度 (Y) 分量和色度 (Cb 和 Cr) 分量,变换公式如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (7)$$

YCbCr 颜色空间中的亮度分量 Y 能够准确地反映物体的光学特性。因此,本文以亮度分量 Y 作为研究重点,将全部像素的亮度分量组成一幅灰度图像。文中将讨论如何从灰度图像中提取图像特征信息,并根据图像特征信息,通过相关运算估计序列图像运动量。

### 2.3 灰度投影特征匹配-图像运动估计

灰度投影 (Gray Projection Algorithm, GPA) 是一种空域特征提取技术。其基本思想是将一幅灰度图像的二维信息映射成 2 个独立的一维投影数据序列。由于投影数据中包含了灰度图像中的纹理、边缘特征信息。因此,投影数据和图像边缘特征、角点特征、直线特性一样,可用于检测序列图像之间的位移量。

设灰度图像序列  $\{f_k(x, y)\}$  的图像尺寸为  $M \times N$ , 灰度级别为 256,  $k$  表示序列图像中的第  $k$  帧图像。则归一化的灰度图像投影数据计算公式如下:

$$\begin{cases} X_k(x) = \frac{1}{256N} \sum_{y=1}^N f_k(x, y) \\ Y_k(y) = \frac{1}{256M} \sum_{x=1}^M f_k(x, y) \end{cases}, \quad (8)$$

式中:  $X_k(x)$ 、 $Y_k(y)$  分别表示第  $k$  帧图像  $\{f_k(x, y)\}$  在第  $x$  列和第  $y$  行的灰度投影值。

灰度投影特征匹配算法以行和列方向上的投影数据作为特征数据,与参考图像和当前位移图像的投影数据作互相关运算。参考图像可以是运动过程中某一时刻的图像,也可以是前一幅图像。根据最佳匹配准则,采用全局搜索算法或优化算法<sup>[12]</sup>对图像运动范围内的所有位移量作相关运算,根据相关曲线的峰值确定当前位移图像相对参考图像的运动量。

本文采用最小均方误差 (MSE) 作为最佳匹配准则来构造相关函数:

$$R(p, q) = \sum_{x=1}^M [X_r(x) - X_c(x + p)]^2 + \sum_{y=1}^N [Y_r(y) - Y_c(y + q)]^2. \quad (9)$$

$(p, q) \in A$ ,  $A$  表示全部投影矢量的集合。

根据上述定义,运动矢量估计变成了在  $(p, q) \in A$  范围内,求  $R(p, q)$  的最小值问题,即

$$[dx, dy]^T = \min_{(p, q) \in A} R(p, q).$$

## 3 Bayer 彩色序列图像运动补偿

### 3.1 图像运动补偿模型

图像运动补偿是图像像元重组的过程,由于运动补偿区域小于原始图像尺寸,因此,根据对补偿结果图像尺寸的要求,图像补偿可分为平移变换补偿和尺度变换补偿两种模型。

在平移变换补偿模型中,根据当前图像和参考图像之间的位移量,将当前图像平移到运动补偿区域。平移变换补偿公式如下:

$$\begin{cases} x_1 = x_2 + dx \\ y_1 = y_2 + dy \end{cases}. \quad (10)$$

尺度变换补偿模型是在平移补偿基础上,通过对运动补偿区域内的图像进行比例放大变换,实现补偿结果图像的全幅输出。尺度变换补偿公式如下:

$$\begin{cases} x_1 = x_c + r * (x_2 - x_c + dx) \\ y_1 = y_c + r * (y_2 - y_c + dy) \end{cases}, \quad (11)$$

式中:  $(x_1, y_1)$  和  $(x_2, y_2)$  分别表示补偿前、补偿后的图像像元坐标;  $dx, dy$  分别表示图像水平和垂直运动量;  $(x_c, y_c)$  表示图像中心坐标;  $r$  表示比例放大系数。

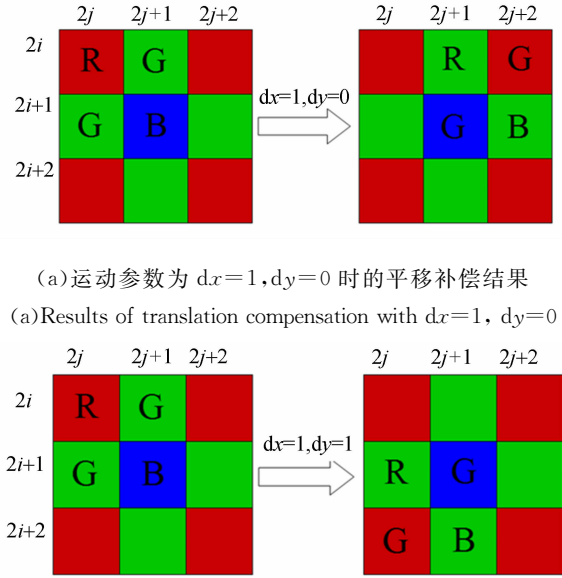
### 3.2 图像运动补偿

在灰度图像阵列中,每个像元  $f_{i,j}$  对应于灰度图像第  $i$  行第  $j$  列像元的灰度,图像平移  $(dx, dy)$  时,像元  $f_{i,j}$  移动到  $(j + dx, i + dy)$ , 在补偿结果图像中,  $(j + dx, i + dy)$  的像元灰度还为  $f_{i,j}$ , 灰度值保持不变。

在 RGB 彩色图像阵列中,每个像元对应一组元素  $(b_{i,j}, g_{i,j}, r_{i,j})$ , 它们分别表示 RGB 彩色图像第  $i$  行第  $j$  列像元的蓝色、绿色和红色分量。在图像平移  $(dx, dy)$  时,像元  $(b_{i,j}, g_{i,j}, r_{i,j})$  的颜色分量整体移动到  $(j + dx, i + dy)$ 。在补偿结果图像中,  $(j + dx, i + dy)$  的像元为  $(b_{i,j}, g_{i,j}, r_{i,j})$ , 它表示该点的蓝色、绿色和红色分量,可见,RGB 彩色图像像元的平移不影响像元颜色。

本文以 RGGB 格式彩色图像为例,分析和讨论传统补偿算法在处理 Bayer 彩色图像像元平移

补偿的局限性。图 3 显示了一组元素 ( $R_{2i,2j}$ ,  $G_{2i,2j+1}$ ,  $G_{2i+1,2j}$ ,  $B_{2i+1,2j+1}$ ) 在  $dx=1, dy=0$  和  $dx=0, dy=1$  两组运动参数的平移补偿情况。



(a) 运动参数为  $dx=1, dy=0$  时的平移补偿结果

(a) Results of translation compensation with  $dx=1, dy=0$

(b) 运动参数为  $dx=0, dy=1$  时的平移补偿结果

(b) Results of translation compensation with  $dx=0, dy=1$

图 3 不正确的平移补偿示例

ig. 3 Two cases for incorrect translation compensation

图 3 中的背景颜色表示该点颜色分量代表的颜色(彩图见期刊电子版)。其中:  $R_{2i,2j}$  表示红色分量;  $G_{2i,2j+1}$  表示第 1 个绿色分量;  $G_{2i+1,2j}$  表示第 2 个绿色分量;  $B_{2i+1,2j+1}$  表示蓝色分量。观察图 3 (a) 可以发现, 经过位移量  $dx=1, dy=0$  的平移变换后,  $R_{2i,2j}$  平移到了代表第 1 个绿色的像元位置;  $G_{2i,2j+1}$  平移到了代表红色的像元位置;  $G_{2i+1,2j}$  平移到了代表蓝色的像元位置;  $B_{2i+1,2j+1}$  平移到了代表第 2 个绿色的像元位置。上述平移变换后, 在补偿结果图像中, 红色  $\rightarrow$  绿色 1, 绿色 1  $\rightarrow$  红色, 绿色 2  $\rightarrow$  蓝色, 蓝色  $\rightarrow$  绿色 2。类似的颜色分量失真现象在图 3(b) 中同样存在。事实上, 通过分析和归纳可以发现, Bayer 彩色图像的运动量是奇数时, 经过平移变换后, 补偿结果图像颜色发生改变; 在运动量为偶数时, 补偿结果图像颜色正常。

根据上述分析可知, 在 Bayer 彩色图像补偿时, 如果不能正确处理奇数运动量的补偿问题, 将影响最终的图像补偿效果。因此, 如何构建适当的运动补偿算法是实现 Bayer 彩色序列图像稳定的关键, 也是本文讨论的重点内容之一。

本文采用双线性插值方法补偿 Bayer 彩色图像。设原始图像为  $f(i, j)$ , 补偿结果图像为  $g(i, j)$ , 图像尺寸为  $M \times N$ ,  $f(i, j)$  的运动量为  $dx$  和  $dy$ 。首先, 将运动量  $dx$  和  $dy$  分解为偶数和余数两部分, 令:

$$\begin{aligned} dx &= 2 \times m + p \\ dy &= 2 \times n + q \end{aligned}$$

式中:  $m, n$  表示正整数,  $p, q$  表示余数, 并且满足  $0 \leq p, q < 2$ 。偶数  $2m$  和  $2n$  用于像元平移, 余数  $p, q$  作为双线性插值的加权系数。

则 Bayer 彩色图像补偿公式可表示为:

$$\begin{aligned} g(i, j) &= 0.25 \times ((2-p) \times (2-q) \times f(i+2n, j+2m) + \\ &\quad p \times (2-q) \times f(i+2n, j+2m+2) + \\ &\quad (2-p) \times q \times f(i+2n+2, j+2m) + \\ &\quad p \times q \times f(i+2n+2, j+2m+2)), \end{aligned} \quad (12)$$

式中:  $i=0, 1, 2, 3, \dots, M-1, j=0, 1, 2, 3, \dots, N-1$ 。

### 3.3 图像运动补偿效果评价

图像运动补偿效果的评价方法可分为主观评价和客观评价两类。主观评价首先确定评价指标, 通过观察图像, 主观评定图像的优劣, 得出评价结果。客观评价是根据评价指标构造数学模型, 通过测试数据来评价图像质量。与主观评价相比, 客观评价速度快、费用低、实用性更强。

本文选择均方误差 (Mean Square Error, MSE) 和峰值信噪比 (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) 来客观评价序列图像在运动图像补偿前和补偿后的输出效果。

设序列图像  $f_k(i, j)$ , 图像尺寸为  $M \times N$ , 则均方误差 MSE 和峰值信噪比 PSNR 的计算公式如下:

$$MSE_k = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_{k+1}(i, j) - f_k(i, j))^2, \quad (13)$$

$$PSNR_k = 10 \lg \frac{255^2}{MSE_k}. \quad (14)$$

## 4 实验结果与分析

### 4.1 色彩还原实验

色彩还原实验的目的是考察还原算法对 Bayer 彩色图像的处理能力, 包括图像还原质量和

处理时间两项指标,根据样本图像的色彩还原实验结果进一步评价还原算法的优劣。

选择 RGB 格式的标准图像 Lena 作为原始样本图像,分别对其进行 BGGR、GBRG、GRBG 和 RRGB 格式的降采样处理,生成 4 幅 Bayer 模

板图像,如图 4 所示。采用本文 2.1 节介绍的  $2 \times 2$  邻域和  $3 \times 3$  邻域 2 种还原算法,分别对上述 4 幅 Bayer 彩色图像进行色彩还原,根据公式 (14) 计算还原结果图像和原始图像的峰值信噪比,同时统计色彩还原算法处理时间。 $2 \times 2$  邻域



图 4 原始图像及其 Bayer 模板图像

Fig. 4 Original image and its down-sample images



图 5  $2 \times 2$  邻域色彩还原结果

Fig. 5 Color reproduction by using  $2 \times 2$  neighborhood



图 6  $3 \times 3$  邻域色彩还原结果

Fig. 6 Color reproduction by using  $3 \times 3$  neighborhood

色彩还原对比图像如图5所示,  $3 \times 3$  邻域色彩还原对比图像如图6所示, 色彩还原结果对比数据见表1。

色彩还原结果表明,  $3 \times 3$  邻域算法的还原质量比  $2 \times 2$  邻域算法的高 3 dB 左右, 运算时间较其高 3 倍左右。

表1 样本图像色彩还原结果

Tab. 1 Color reproduction results of sample images

Bayer 格式	$2 \times 2$ 邻域		$3 \times 3$ 邻域	
	处理时间	PSNR	处理时间	PSNR
	/ms	/dB	/ms	/dB
BGGR	1.32	29.2	4.00	32.4
GBRG	1.30	29.5	4.12	33.5
GRBG	1.28	29.5	4.18	33.3
RGGG	1.29	29.2	4.15	33.0

## 4.2 图像稳定实验

图像稳定实验包括图像运动估计和运动补偿两项内容。实验中, Bayer 彩色 CCD 相机安装在

两轴稳定平台上, 用于采集视频图像, CCD 相机选用美国 UNIQ Vision 公司生产的 Bayer 彩色 CCD 相机, 型号为 UC-1830CL, 像元空间分辨率为  $1024 \text{ pixel} \times 1024 \text{ pixel}$ , 帧频为 30 frame/s, 像元尺寸为 8 bit。通过上述色彩还原和颜色空间变换生成灰度图像, 根据式(8)和式(12)可以计算出灰度投影数据和补偿图像运动量, 根据式(14)可以计算序列图像峰值信噪比。

实验中选择视频中的 5 幅图像作为样本序列图像, 参见图7, 其中: 第1幅图像作为参考图像, 其余4幅图像作为位移图像。根据2.1节介绍的色彩还原方法, 分别采用  $2 \times 2$  邻域和  $3 \times 3$  邻域色彩还原算法进行图像复原, 通过运动估计和运动补偿对比实验数据, 分析和讨论色彩还原算法对运动估计参数和运动补偿质量的影响。表2显示了5幅图像运动量估计及运动补偿结果。

对比实验结果数据可以看出, 采用  $3 \times 3$  邻域色彩还原算法的运动补偿 PSNR 较  $2 \times 2$  邻域算法提高了 4 dB 左右。



(a)第1幅图 (b)第2幅图 (c)第3幅图 (d)第4幅图 (e)第5幅图  
(a)The 1<sup>st</sup> frame (b)The 2<sup>nd</sup> frame (c)The 3<sup>rd</sup> frame (d)The 4<sup>th</sup> frame (e)The 5<sup>th</sup> frame

图7 视频序列图像

Fig. 7 Video images sequence

表2 样本图像电子稳像结果

Tab. 2 Results of electronic image stabilization for sample image (dB)

序号	$2 \times 2$ 邻域		$3 \times 3$ 邻域	
	运动矢量	补偿信噪比	运动矢量	补偿信噪比
1	(-9, -10)	36.5	(-9, -11)	41.3
2	(-8, 14)	36.2	(-8, 15)	40.3
3	(19, 12)	36.8	(19, 11)	41.4
4	(18, -20)	36.5	(18, -19)	40.6

## 5 结论

通过分析 Bayer 彩色图像的特点, 提出了基于灰度投影特征的序列图像稳定新方法。将 Ba-

yer 彩色图像经过色彩还原、颜色空间变换后转换到灰度图像, 再通过计算灰度图像投影特征数据, 依据最小误差准则估计图像运动量。根据图像运动补偿模型, 在双线性插值算法的基础上, 通过像元重组进行图像运动补偿, 实现了 Bayer 彩色序列图像的稳像输出, 样本序列图像稳像实验验证了本文方法的有效性。

实验结果表明, 本文方法可以实现像元级运动量检测, 运动补偿峰值信噪比优于 40 dB, 能够满足一般工程应用和使用要求。本文同时分析和讨论了色彩还原算法对 Bayer 彩色图像稳像质量的影响。色彩还原实验结果表明,  $3 \times 3$  邻域算法图像的还原质量比  $2 \times 2$  邻域算法高 3 dB 左右,

补偿质量较其高 4 dB。色彩还原算法是影响图像复原质量、图像运动估计精度及图像补偿效果的重要因素之一。在算法处理能力上,本文突破了传统运动补偿算法只能处理灰度图像和 RGB

彩色序列图像的局限性,在处理 Bayer 彩色图像的电子稳像方面进行了初步探索和有益尝试,对如何实现 Bayer 彩色序列图像的稳像输出具有一定的理论和应用价值。

#### 参考文献:

- 插值算法研究[J]. 激光与红外, 2002, 32(5):300-302.
- LI Q, XU ZH H, FENG H J. Study of DSC' s CCD color interpolation algorithm [J]. *LASER & INFRARED*, 2002, 32(5):300-302. (in Chinese)
- [8] 罗潇, 孙海江, 陈秋萍, 等. Bayer 格式图像的实时彩色复原[J]. 中国光学与应用光学, 2010, 3(2): 182-187.
- LUO X, SUN H J, CHEN Q P, *et al.*. Real-time demosaicing of Bayer pattern images [J]. *Chinese Journal of Optics and Applied Optics*, 2010, 3(2):182-187. (in Chinese)
- [9] 孙辉, 柏旭光, 孙丽娜, 等. Bayer 图像色彩还原线性插值方法[J]. 液晶与显示, 2013, 28(3):417-423.
- SUN H, BAI X G, SUN L N, *et al.*. Linear interpolation of demosaicing for Bayer pattern [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(3):417-423. (in Chinese)
- [10] LAM H K, AU O C, WONG C W. Automatic white balancing using luminance component and standard deviation of RGB components [J]. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2004, 3(3):493-496.
- [11] 谷元保, 付宇卓. 一种基于灰度世界模型自动白平衡方法[J]. 计算机仿真, 2005, 22(9):185-188.
- GU Y B, FU Y ZH. A method of automatic white balance based on grey world model [J]. *Computer Simulation*, 2005, 22(9):185-188. (in Chinese)
- [12] 陈洪财. 适于 LCM 应用的彩色图像全局不失真增强算法[J]. 液晶与显示, 2013, 28(3):446-449.
- CHEN H C. Color image globally without distortion enhancement algorithms suitable for LCM application [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(3): 446-449. (in Chinese)
- [1] ANSARI Z A, SENGUPTA S, SINGH A K. Image stabilization for moving platform surveillance [J]. *SPIE*, 2012, 8360:1-10.
- [2] 姚军, 蒋晓瑜, 杜登崇, 等. 使用粒子滤波器实现电子稳像[J]. 光学精密工程, 2009, 17(5):1005-1110.
- YAO J, JIANG X Y, DU D CH, *et al.*. Digital image stabilization based on particle filter [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(5):1005-1110. (in Chinese)
- [3] VELLA F, CASTORINA A, MANCUSO M, *et al.*. Digital image stabilization by adaptive block motion vectors filtering [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2002, 48(3):796-801.
- [4] 黎俊, 彭启民, 范植华. 亚像素级图像配准算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(11):2070-2075.
- LI J, PENG Q M, FAN ZH H. A survey of sub-pixel image registration methods [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2008, 13(11):2070-2075. (in Chinese)
- [5] 吉淑娇, 朱明, 胡汉平. 基于特征点匹配的电子稳像技术[J]. 中国光学, 2013, 6(6):841-849.
- JI SH J, ZHU M, HU H P. Aero-borne electronic image stabilization based on feature point matching [J]. *Chinese Optics*, 2013, 6(6):841-849. (in Chinese)
- [6] 杨永明, 李清军, 李文明, 等. 基于 Bayer 滤波的彩色面阵 CCD 调制传递函数[J]. 光学精密工程, 2012, 20(7):1611-1618.
- YANG Y M, LI Q J, LI W M, *et al.*. Modulation transfer function for color area CCD based on Bayer filtering [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(7):1611-1618. (in Chinese)
- [7] 李奇, 徐之海, 冯华君. 用于数字相机的 CCD 颜色

#### 作者简介:



孙 辉(1963—),男,吉林柳河人,研究员,1985 年于吉林大学获得理学学士学位,主要从事数字图像处理及计算机仿真研究。E-mail:sunh@ciomp.ac.cn