

文章编号: 1672-2892(2012)02-0173-05

Bayer 滤波在微观驱油动态图像采集中的应用

王正庚, 滕奇志, 何小海

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘 要: 根据 Bayer 模板的特点, 提出了一种改进的 Gray World-Retinex 算法, 利用 Bayer 图像信息量少的特点计算自动白平衡的修正参数, 使用该参数进行自动白平衡能够实时快速地得到理想的彩色图像, 减少了 Gray World-Retinex 算法的运算量, 使 Gray World-Retinex 算法的处理时间减少近一半。将该方法应用在微观动态驱油系统中, 可以观察到光刻模型中油珠的运动细节。

关键词: 微观动态驱油; 高速采集; Bayer 彩色滤波阵列; 彩色复原; Gray World-Retinex 算法
中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A

Application of Bayer color filter in the image acquisition system of micro-water/oil displacement

WANG Zheng-geng, TENG Qi-zhi, HE Xiao-hai

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

Abstract: An improved automatic white balance algorithm based on the feature of Bayer images which contain less information than color images, is proposed in this paper. By calculating the corrected parameters of auto white balance, this algorithm reduces the computation time by half of that of Gray World-Retinex, and obtains ideal color images quickly. The movement details of oil droplets in the lithography model can be observed by applying this method to the micro-water/oil displacement system.

Key words: micro-water/oil displacement; high frequency acquisition; Bayer Color Filter Array; color restoration; Gray World-Retinex algorithm

微观驱替动态图像系统包括图像采集和图像分析, 采集图像的质量对后续分析有重要意义。为了准确捕捉到驱替液和油水在孔隙和喉道中的运动情况, 需要用高速摄像机进行图像采集, 通过实验得出结论, 45 帧/秒的摄像头采集速率能够满足要求, 但普通计算机硬盘写入速度不够, 要使 45 帧/秒采集的图像完整保存下来, 对计算机硬件配置要求很高, 计算机的成本过高。为解决此问题, 本文提出一种方案, 即采集 8 bit 的 Bayer 格式图像, 然后进行彩色复原和自动白平衡, 既保证了驱油过程图像的完整保存, 又降低了硬件成本。采用双线性插值法进行彩色复原时, 由于光照会引起色温的不同, 使插值后的图像偏离正常颜色, 需要对彩色复原后图像进行自动白平衡。常用的自动白平衡方法有 Gray World 算法、Retinex 算法^[1]和 Gray World-Retinex 算法^[2]等。其中 Gray World 算法运算量最小, 对色彩丰富的图像白平衡效果非常好, 但是对仅有几种颜色分量的图像, 白平衡就会失效。Retinex 算法通过空间中每个像素点的比较, 估算图像 R、G 和 B 的亮度值, 其缺点是算法过于复杂, 运算速度慢, 因此很少用于实际中^[3]。Gray World-Retinex 算法兼具 Gray World 算法和 Retinex 算法在白平衡效果上的优点, 在各种情况下均能得到较为理想的彩色图像, 但 Gray World-Retinex 算法存在运算量大, 运算时间长的问题。本文根据 Bayer Color Filter Array (CFA) 原理, 提出了一种改进的 Gray World-Retinex 算法, 由于彩色复原后的图像是根据 Bayer 格式图像插值得到, 利用 Bayer 格式图像信息量少的特点, 计算出彩色复原后图像的自动白平衡修正系数, 在保证自动白平衡效果的基础上, 简化 Gray World-Retinex 算法的运算, 从而减少自动白平衡的运算时间。

1 双线性插值法

双线性插值法是广泛应用的插值算法之一, 对于图 1 所示的 Bayer 彩色滤波阵列中的 RGGB 滤波模式, 双线性

插值算法的流程如下^[4]:

1) 绿色滤镜感光点上的 R, B 值分别由相邻的 2 个 R, B 像素的灰度求平均值得到, R, B 值计算公式如下:

$$R_{23} = \frac{R_{13} + R_{33}}{2} \quad (1)$$

$$B_{23} = \frac{B_{22} + B_{24}}{2} \quad (2)$$

2) 红、蓝滤镜感光点上的 G 值由相邻的 4 个绿色像素求平均值得到, 计算公式如下:

$$G_{33} = \frac{G_{23} + G_{43} + G_{32} + G_{34}}{4} \quad (3)$$

$$G_{44} = \frac{G_{34} + G_{54} + G_{43} + G_{45}}{4} \quad (4)$$

3) 红色滤镜感光点上的 B 值由对角线上相邻的 4 个像素平均得到。计算公式如下:

$$B_{33} = \frac{B_{22} + B_{24} + B_{42} + B_{44}}{4} \quad (5)$$

4) 蓝色滤镜感光点上的 R 值由对角线上相邻的 4 个 R 像素平均得到。计算公式如下:

$$R_{33} = \frac{R_{33} + R_{35} + R_{53} + R_{55}}{4} \quad (6)$$

R_{11}	G_{12}	R_{13}	G_{14}	R_{15}	G_{16}
G_{21}	B_{22}	G_{23}	B_{24}	G_{25}	B_{26}
R_{31}	G_{32}	R_{33}	G_{34}	R_{35}	G_{36}
G_{41}	B_{42}	G_{43}	B_{44}	G_{45}	B_{46}
R_{51}	G_{52}	R_{53}	G_{54}	R_{55}	G_{56}
G_{61}	B_{62}	G_{63}	B_{64}	G_{65}	B_{66}

Fig.1 Bayer color filter array
图 1 Bayer 格式阵列

2 改进的自动白平衡算法

经过彩色复原后的图像, 由于色温差异往往会导致复原后图像偏离真实色彩, 在低色温光照条件下会整体偏红, 在高色温光照条件下会整体偏蓝。为了补偿不同光照条件所引起的色差差异, 需要对彩色复原后的图像进行白平衡, 使图像更接近人眼观察到的颜色^[5]。Gray World-Retinex 算法是一种较为理想的自动白平衡算法, 但是 Gray World-Retinex 算法存在运算量大, 运算时间长的问题。

2.1 Gray World-Retinex 自动白平衡算法

Gray World-Retinex 算法是基于这样 1 个假设: 在 1 个场景中, 1 幅彩色图像红绿蓝三通道的像素值之和是相等的^[2]。因为在 Bayer CFA 中, 绿色占据一半的分量, 人眼对绿色更为敏感, 能分辨更多的细节; 同时, 绿色也占据了可见光谱中最重要和最宽的位置, 并且图像的 G 通道分量在不同色温的光源照射下, 通常不会发生较大的改变^[6-7], 所以本文保持绿色分量不变, 以绿色分量为基准, 求出修正红色分量的系数。在式(7)中, $M \times N$ 为图像的大小, $\hat{R}_{(x,y)}^0$ 是进行自动白平衡修正后的第 x 行 y 列 R 通道像素值, $G_{(x,y)}$ 为第 x 行 y 列像素值。

$$\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \hat{R}_{(x,y)}^0 = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N G_{(x,y)} \quad (7)$$

实际上在拍照时, 由于光照的原因, 红绿蓝三分量值的和并不相等, 使得人眼看到的图像颜色偏离了正常的颜色, 需要对红绿蓝三通道或者三通道中的部分通道进行修正, 使得图像红绿蓝三通道值的和相等。为满足式(7), 可用式(8)对图像各个像素的 R 通道进行修正:

$$\hat{R}_{(x,y)}^0 = uR_{(x,y)}^2 + vR_{(x,y)} \quad (8)$$

式中 u, v 为图像 R 通道的修正系数, 根据式(7)和式(8)可得:

$$u \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N R_{(x,y)}^2 + v \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N R_{(x,y)} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N G_{(x,y)} \quad (9)$$

同时根据 Retinex 理论可以推出:

$$u \max\{R_{(x,y)}^2\} + v \max\{R_{(x,y)}\} = \max\{G_{(x,y)}\} \quad (10)$$

式中: $\max\{R_{(x,y)}\}$ 和 $\max\{G_{(x,y)}\}$ 分别为 R 通道和 G 通道像素值的最大值; $\max\{R_{(x,y)}^2\}$ 为 R 值平方的最大值, 联合

式(9)和式(10)可得:

$$\begin{bmatrix} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N R_{(x,y)}^2 & \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N R_{(x,y)} \\ \max\{R_{(x,y)}^2\} & \max\{R_{(x,y)}\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N G_{(x,y)} \\ \max\{G_{(x,y)}\} \end{bmatrix} \quad (11)$$

由式(11)可求出 u 和 v 的值, 将求出的 u, v 值代入式(8), 可得到进行自动白平衡修正后彩色图像 R 通道的值, 按同样的方法可以求出修正 B 通道的系数, 从而修正彩色图像的 B 通道, 保持图像的 G 通道值不变, 这样就得到了自动白平衡后的理想彩色图像。

2.2 改进的自动白平衡算法

如图 1 所示, R_{11} 和 R_{13} 点的 G 分量和 B 分量都是由周围点插值得到, 可以认为插值后彩色图像 R 通道像素值总和是未插值前 Bayer 图像的红分量点(如图 1 中 R_{11}, R_{13} 和 R_{31} 等点)像素值总和的 4 倍; 插值后彩色图像 G 通道像素值总和是未插值前 Bayer 图像的绿色分量点像素值总和的 2 倍, 由 Gray World-Retinex 算法的先决条件——在 1 个场景中, 1 幅彩色图像红绿蓝三通道的像素值之和是相等的, 可以知道, 在彩色图像中未经插值的像素点分量, 绿色分量像素值之和是红色分量像素值之和的 2 倍, 于是有:

$$\sum \sum R_{b(x,y)}^2 = \frac{1}{2} \sum \sum G_{b(x,y)} \quad (12)$$

同样可以得到:

$$\hat{R}_{b(x,y)}^2 = u R_{b(x,y)}^2 + v R_{b(x,y)} \quad (13)$$

联合式(12)~(13)得到:

$$u \sum \sum R_{b(x,y)}^2 + v \sum \sum R_{b(x,y)} = \frac{1}{2} \sum \sum G_{b(x,y)} \quad (14)$$

将 Retinex 理论应用到 Bayer 格式图像上, 即得到彩色图像中像素点未经插值的像素分量:

$$u \max\{R_{b(x,y)}^2\} + v \max\{R_{b(x,y)}\} = \max\{G_{b(x,y)}\} \quad (15)$$

式(12)~(15)中 $R_{b(x,y)}$ 和 $G_{b(x,y)}$ 分别代表彩色图像中 R 通道和 G 通道中未经插值的像素点分量值, 即对应 Bayer 图像的 R 感光点和 G 感光点像素值。求 R 分量值时, x 和 y 都为奇数; 求 G 分量值时, x 为奇数, y 为偶数, 或 x 为偶数, y 为奇数。根据式(14)和式(15), 将式(11)改进为:

$$\begin{bmatrix} \sum \sum R_{b(x,y)}^2 & \sum \sum R_{b(x,y)} \\ \max\{R_{b(x,y)}^2\} & \max\{R_{b(x,y)}\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \sum \sum G_{b(x,y)} \\ \max\{G_{b(x,y)}\} \end{bmatrix} \quad (16)$$

等式左边, x 和 y 都为奇数; 等式右边, x 为奇数, y 为偶数, 或者 x 为偶数, y 为奇数, 这样在计算 u 和 v 的过程中减少了计算量, R 通道要计算的像素点减少到原来的 $1/4$, G 通道要计算的像素点减少到原来的 $1/2$ 。由于在彩色图像中, 像素的插值分量是根据 Bayer 图像插值得到, 所以系数 u 和 v 可以用来修正整幅彩色图像的 R 通道。同样的, 用这种方法可以减少求 B 通道修正系数的运算量, 求出 B 通道的修正系数对图像的 B 通道进行修正。保持像素的 G 分量不变, 这样就得到了自动白平衡后的理想彩色图像。在整个自动白平衡运算中, 把参与运算的数据量减少到原 Gray World-Retinex 算法的 $1/3$ 。同理, 该方法可以应用于其他的一些自动白平衡算法, 如 Gray World 算法等。

3 在微观驱油动态图像采集中的应用及分析

为验证本方案算法的正确性和可行性, 在 PC 机上编程, 查看处理后的图像: 图 2(a)是微观驱替图像采集系统上采集得到的 8 bit 的 Bayer 格式图像, 图 2(b)是彩色复原后的图像, 图 2(c)是自动白平衡处理后的图像, 图 2(d)是采用改进自动白平衡算法得到的图像。

由图 2 可以看出, 将 Bayer 图像插值成为彩色图像, 然后对得到的彩色图像进行改进的自动白平衡校正, 这样可以得到理想的彩色图像。由图 2(c)和图 2(d)还可以发现, Gray World-Retinex 算法和改进的 Gray World-Retinex 算法对图像进行白平衡的效果是一致的, 与人眼观察的驱油模型颜色一致, 是可接受的。通过对大量的驱油模型

采集 Bayer 格式图像,验证了该方法的普适性,并且改进的自动白平衡算法可以减少计算时间。表 1 是大小为 $1\,024 \times 776$ 的 5 个不同驱油模型的图像,在 PC 机上分别使用参考文献[2]中 Gray World 算法、Gray World-Retinex 算法及改进的 Gray World-Retinex 算法处理的时间。

从表 1 中可以看到,处理 1 副图像,改进的 Gray World-Retinex 算法比 Gray World-Retinex 算法节省近一半的时间,这是由于在计算整幅图像各像素点的 R, G, B 三通道像素值的自动白平衡时,将运算量减少到原算法的 $1/3$ 。

表 1 $1\,024 \times 776$ 图像在 PC 机上处理所需时间Table1 Time of processing $1\,024 \times 776$ size image on PC

	Gray World	Gray World-Retinex	improved Gray World-Retinex
sample 1 time/ms	15.569 8	41.200 4	21.313 0
sample 1 time/ms	15.711 5	41.369 5	21.043 7
sample 1 time/ms	15.764 0	41.470 4	21.294 6
sample 1 time/ms	15.791 6	40.866 6	21.224 7
sample 1 time/ms	15.531 0	41.159 7	21.020 3

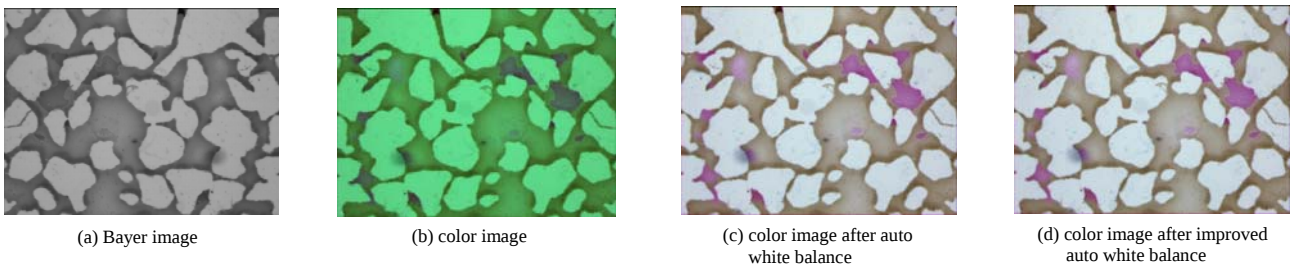


Fig.2 Model of micro-water/oil displacement

图 2 驱油模型

应用文献[8]中评价自动白平衡算法效果的方法,即计算白平衡后图像的 $\sqrt{Cr_{avg}^2 + Cb_{avg}^2}$ 数值来评价自动白平衡法的优劣。其数值越小,说明白平衡法的效果越好。在 $YcbCr$ 空间中, Y 是指亮度分量, Cb 指蓝色色度分量,而 Cr 指红色色度分量, Cr_{avg} 和 Cb_{avg} 分别为样本图像各个像素点 Cr 和 Cb 的均值,在这里为表述方便,使用 C_{avg}

$$\text{替代 } \sqrt{Cr_{avg}^2 + Cb_{avg}^2}, \text{ 其中 } \begin{bmatrix} Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.168\,7 & -0.331\,3 & 0.5 \\ 0.5 & -0.418\,7 & -0.081\,3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}。$$

从表 2 中可以看出:改进的 Gray World-Retinex 算法比原始 Gray World-Retinex 算法的 C_{avg} 值稍大,对照同样情况下摄像头自动白平衡后采集的彩色图像的 C_{avg} 值,可以知道,这种在 C_{avg} 值上的减少对图像质量的影响非常小,人眼难以分辨,但是在进行自动白平衡运算时却节省了大量的时间。由表 1 可知,参考文献[3]中的 Gray World 算法的运算时间值较 Gray World-Retinex 算法和改进的 Gray World-Retinex 算法小,但是从表 2 可以知道,Gray World 算法的 C_{avg} 值较大。综合考虑,在实际应用中,改进的 Gray World-Retinex 算法是一种比较理想的自动白平衡算法。

表 2 几个样本的 C_{avg} 值Table2 C_{avg} of some samples

	no white balance	Gray World	Gray World-Retinex	improved Gray World-Retinex	color images of camera after white balance
sample 1	45.836 8	0.385 9	0.021 6	0.062 5	10.300 6
sample 2	47.500 8	0.237 5	0.016 9	0.031 3	2.514 7
sample 3	58.463 8	0.198 4	0.012 6	0.130 1	5.890 9
sample 4	56.544 3	0.203 1	0.019 9	0.074 2	0.579 3
sample 5	47.768 8	0.633 7	0.006 2	0.113 0	2.480 9

4 结论

本文中假设高速摄像头每秒钟采集 45 帧,每幅彩色图像(24 bit)大小为 $1\,024 \times 776$ (2.27 M),每秒钟需要保存 100 M 的数据,对于单硬盘的普通计算机来说,写入速度远达不到,因此中间有些帧就会丢失。本文提出一种较为节约成本且实用的方法,采集 8 bit Bayer 格式图像,采用插值的方式,将 8 bit Bayer 格式图像批处理成 24 bit 彩色图像。考虑到时间复杂度,彩色复原采用既简单又实用的双线性插值算法,彩色复原后使用改进的 Gray World-Retinex 算法对彩色图像进行自动白平衡,改进的 Gray World-Retinex 算法,在减少了运算时间的同时不影响图像在后续分析中的可用性。

参考文献:

- [1] McCann J J, McKee S P, Taylor T H. Quantitative Studies in Retinex Theory: A Comparison between Theoretical Predictions and Observer Responses to the "Color Mondrian" Experiments[J]. Vision Research, 1978, 16(5): 445-458.
- [2] Lam E Y. Combining Gray World and Retinex Theory for Automatic White Balance in Digital Photography[C]// Proceeding of the Ninth International Symposium on Consumer Electronics, 2005. Macau: [s.n.], 2005: 134-139.
- [3] 张钰, 姚素英. 改进的 Gray World-Retinex 图像自动白平衡方法[J]. 数据采集与处理, 2008, 23(6): 673-677. (ZHANG Yu, YAO Suying. Improved Gray World-Retinex automatic white balance algorithm[J]. Data Acquisition and Processing, 2008, 23(6): 673-677.)
- [4] 胡磊. CCD图像的颜色插值算法研究及其FPGA实现[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009: 6-7. (HU Lei. Research of CFA interpolation algorithm for Bayer CCD image and its implement on FPGA[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009: 6-7.)
- [5] Kao W C, Wang S H, Kao C C, et al. Color reproduction for digital imaging systems[C]// 2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Island of Kos: [s.n.], 2006: 4599-4602.
- [6] Huo J Y, Chang Y L, Wang J, et al. Robust automatic white balance algorithm using gray color points in images[J]. IEEE Consumer Electronics, 2006, 52(2): 541-546.
- [7] 谷元宝, 付元卓. 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 Yuanbao, FU Yuanzuo. An auto white balance algorithm based on gray world model[J]. Computer simulation, 2005, 22(9): 185-188.)
- [8] Lin J L. An Automatic White Balance Method Based on Edge Detection[C]// 2006 IEEE Tenth International Symposium on Consumer Electronics. St. Petersburg: [s.n.], 2006: 1-4.

作者简介:



王正庚(1987-), 男, 湖南省衡阳市人, 在读硕士研究生, 研究方向为数字图像处理.
email: wzgyjbl@126.com.

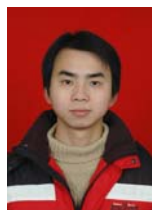
滕奇志(1961-), 女, 成都市人, 博士, 教授, 主要研究方向为数字图像处理、模式识别、计算机应用等. email: nic5602@scu.edu.cn.

何小海(1964-), 男, 四川省绵阳市人, 博士, 教授, 主要研究方向为通信与信息处理、图像处理与信息系统、数字通信等.

(上接第 164 页)

- [7] 廖成, 杨丹, 方剑. 不同极化方向电磁脉冲作用于计算机机箱的效应分析[J]. 微波学报, 2007, 23(4): 28-31. (LIAO Cheng, YANG Dan, FANG Jian. Numerical analysis for EMP having different polarization direction coupling to a computer Case[J]. Journal of Microwaves, 2007, 23(4): 28-31.)
- [8] Berenger J P. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves[J]. Comp. phys., 1994, 114(2): 185-200.
- [9] Wang J G, Chen Y S, Fan R Y, et al. Numerical studies on nonlinear coupling of high-power microwave pulses into a cylindrical cavity[J]. IEEE Trans. Plasma Science, 1996, 24(1): 193-197.

作者简介:



黄辉敏(1986-), 男, 湖南省衡阳市人, 在读硕士研究生, 研究方向为电力系统电磁兼容. email: huanghuimin456@163.com.

张卫东(1968-), 男, 河北省保定市人, 教授, 主要研究方向为光纤传感技术、信号分析与处理、电力系统电磁兼容等.

李继琨(1985-), 男, 广西桂林市人, 在读硕士研究生, 研究方向为电力系统电磁兼容.

陈沛龙(1986-), 男, 贵州省六盘水市人, 在读硕士研究生, 研究方向为电力系统电磁兼容.