

图像信号处理器中自动白平衡的算法研究

韩强,戎蒙恬,刘文江

(上海交通大学电子工程系,上海 200240)

摘要: 介绍了自动白平衡(AWB)的原理以及常用的几种自动白平衡算法——GW, PR, QCGP, SDWGW, LWGW, SDLWGW 和 QCLWGP, 给出了它们各自的算法步骤, 并分析其中的优缺点。从对仿真结果的客观、主观评价和硬件实现复杂度方面出发, 比较了各种算法的稳定性和适应性。最后选出了较优的算法并提出了改进的方法。

关键词: 自动白平衡; 评价方法; 硬件复杂度

Algorithm research of auto white balance in hardware-based ISP

HAN Qiang, RONG Meng-tian, LIU Wen-jiang

(Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract This paper introduced the principle of auto white balance(AWB) and several common AWB algorithms, GW, PR, QCGP, SDWGW, LWGW, SDLWGW and QCLWGP. The concrete steps are given while the advantages and disadvantages are analyzed. According to the objective, subjective evaluation of simulation results and implementation complexity, a comparison on stability and adaptability of all algorithms is also presented. In the end, the comparatively good algorithms are selected and some improved methods are put forward.

Key words: auto white balance; evaluation method; hardware complexity

0 引言

图像信号处理器 ISP(image signal processor) 连接在 CMOS 或 CCD 传感器之后, 对 CMOS 或 CCD 传感器得到的原始图像信号进行一系列的图像变换、图像数据压缩等预处理和统计, 从而达到优化图像信号的目的。而白平衡在解决图像的色彩失真方面起着至关重要的作用。本文介绍了现有的一些自动白平衡算法, 对它们的效果进行了主客观方面的评估, 并讨论了硬件实现的复杂度。

1 白平衡原理简介

1.1 色温概念

色温的定义^[1]: 色温描述的是具有一定表面温度的“黑体”(blackbody) 的辐射光的光谱特性。“黑体”是可以吸收所有入射光而不反射光线或是让光线穿过的理想物体。色温的单位使用开氏温标。色温是可见光的一种特性。色温越高, 光谱越偏蓝色; 色温越低, 则温度越红。图 1 是光源色温与物体颜

色的关系。

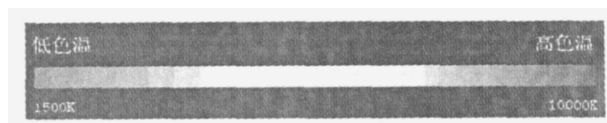


图 1 色温与颜色的关系

1.2 白平衡原理

白平衡 WB(white balance) 是一种去除非正常颜色的过程。人眼可以很自然的根据当前光源色温来调整看到的物体颜色, 而数码相机等摄像设备却往往很难实现完美的自动白平衡。正因为传感器不具有人眼的不同光照色温下的色彩恒定性, 白平衡模块就需要将人眼看来白色的物体进行色彩的还原, 使其在照片上也呈现为白色。

收稿日期: 2009-05-05

基金项目: 上海-应用材料研究与发展基金(08700740700)

作者简介: 韩强(1985-), 男, 上海交通大学电子工程系硕士生, 研究方向为系统与集成电路芯片设计。

同时, 因为白光中的 RGB 分量强度相同($R = G = B = 255$), 所以校正了白色光, 也就可以校正其他颜色的光了。同理, 因为灰色光中 RGB 的分量也相同, 所以也可以通过校正灰色的光来达到白平衡的目的。

2 常用自动白平衡算法介绍

本段介绍了一些常见的自动白平衡算法, 其中包括灰度世界算法(GW), 全反射理论算法(PR), GW 和 PR 正交组合算法(QCGP), 标准差加权的灰度世界算法(SDWGW), 亮度加权的灰度世界算法(LWGW), 标准差亮度灰度世界算法(SDLWGW) 以及亮度加权灰度世界算法与 PR 正交组合算法(QCLWGP)。给出了它们各自的算法步骤, 并分析它们各自的优缺点。

2.1 灰度世界算法 GW (Gray World Assumption)

灰度世界理论^[2] 假设: 任一幅图像, 当它有足够的色彩变化, 则它的 RGB 分量的均值会趋于相等。这是一个在自动白平衡方面应用极为广泛的理论。如式(1)所示,

$$R_{ave} = G_{ave} = B_{ave} \quad (1)$$

其中 R_{ave} , G_{ave} , B_{ave} 分别是红绿蓝三色分量的均值。

基于灰度世界理论, 可以这样对每一幅图像进行自动白平衡, 方法是让图像的 RGB 三色分量符合式(1), 即:

$$R_A = \frac{K}{R_{ave}} R_B; G_A = \frac{K}{G_{ave}} G_B; B_A = \frac{K}{B_{ave}} B_B; \\ K = \frac{R_{ave} + G_{ave} + B_{ave}}{3} \quad (2)$$

其中 R_{ave} , G_{ave} , B_{ave} 为白平衡前图像色彩分量的均值。

2.2 全反射理论算法 PR (Perfect Reflector Assumption)

全反射理论 PR 假设图像上最亮点就是白点, 并以此白点为参考对图像进行自动白平衡。最亮点定义为 $R + G + B$ 的最大值, 或者 YCbCr 空间中的 Y 最大值。PR 理论也是在自动白平衡处理中最常用的理论之一。

$$R_A = \frac{R_w}{R_{max}} R_B; G_A = \frac{G_w}{G_{max}} G_B; B_A = \frac{B_w}{B_{max}} B_B; \quad (3)$$

其中, R_{max} , G_{max} 和 B_{max} 为原图像上最亮点的三个颜色分量值; R_w , G_w 和 B_w 是白平衡后图像上白点的像素值(255 或略少)。

如果只把一个点作为参考, 结果往往不太理想。一种改进的方法是用图像上最亮的一部分点的均值作为参考, 对图像进行自动白平衡处理。本文后面的仿真用的是图像最亮的前 20% 的部分。

2.3 GW 和 PR 正交组合算法 QCGP (Quadratic Combining GW & PR)^[3]

上面两种方法都是在满足某种假设的情况下进行自动白平衡才会得到比较好的效果, 如果把两种方法的优点结合起来, 就可以得到一种更好的算法。QCGP 算法用二次方程将 GW 和 PR 算法结合, 它可以很好的对图像进行白平衡处理且保留两种理论的优点。QCGP 方法的步骤如下:

首先找出图像的三种颜色分量的均值(R_{ave} , G_{ave} , B_{ave}) 和最大值(R_{max} , G_{max} , B_{max})。然后建立(4) 式的二次方程。下式为 R 分量的方程, G B 分量类似。

$$u^r R_{ave}^2 + v^r R_{ave} = K_{ave}; \\ u^r R_{max}^2 + v^r R_{max} = K_{max} \\ K_{ave} = \frac{R_{ave} + G_{ave} + B_{ave}}{3}; \\ K_{max} = \frac{R_{max} + G_{max} + B_{max}}{3} \quad (4)$$

求出满足以上方程的 u 和 v 的值。

最后按下式进行自动白平衡:

$$R_A = u^r R_B^2 + v^r R_B \quad (5)$$

其中, R_B 为原像素值, R_A 为自动白平衡后的新像素值。 G 和 B 的公式类似得到。

2.4 标准差加权的灰度世界算法 SDWGW (Standard Deviation Weighted Gray Word Assumption)^[4]

相对于 PR 理论, GW 理论的适用范围更广, 而且它用到的图像信息也更多, 只是再单一颜色的图像中效果不尽理想, 于是在它的基础上就发展出了标准差加权的灰度世界算法。首先把图像分块, 对每一块计算它像素的标准差, 也就是颜色变化的情况。对于标准差越大的图像块, 其颜色越丰富, 越符合灰度世界理论的假设, 权重越大; 而标准差越小的块则权重越小。最后用所有块的 RGB 像素的加权平均值替换(2) 式中的均值。步骤如下:

首先把图像分成 16×16 的小块, 共 n 块。按式(6) 算出图像的 R 颜色分量加权均值:

$$SDW - R = \sum_{k=1}^n \frac{R_{std}(k)}{\sum_{i=1}^n R_{std}(i)} \times R_{ave}(k) \quad (6)$$

其中, $R_{ave}(k)$ 表示第 k 个小块的 R 颜色分量的均值, 而 $R_{std}(k)$ 则表示第 k 个小块的 R 颜色分量的标准差。SDW - G 和 SDW - B 类似得到。最后, 如同先前的灰度世界算法, 将 SDW - R 等带入(2) 式实现自动白平衡。

2.5 亮度加权的灰度世界算法 LWGW (Luminance Weighted Gray World Assumption)^[4]

和 SDWGW 一样, LWGW 也是对 GW 算法的一种改进, 根据 GW 理论看来, 在一幅图像中间亮度的地方最接近 GW 理论的假设, 所以在亮度加权的灰

度世界算法中, 越是接近图像中间亮度的区域在计算图像像素均值的时候给予的权重就越大, 反之越少。其步骤如下。

先把图像划分成 16×16 的小块, 共计 n 块。 $L-sp$ 是一个关于亮度的单峰值的方程, 其最大值取在亮度为 128 处, 即中间亮度时 $L-sp$ 取最大值, 本文使用高斯函数 $N(128, 64^2)$, 即 $f(x) = \exp\left[-\frac{(x-128)^2}{2 \times 64^2}\right]$ 。按 (7) 式计算图像 R 分量的均值。

$$LW-R(k) = \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} \frac{L-sp(i,j)}{\sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} L-sp(i,j)} \times R_j(k);$$
$$\overline{LW-R} = \frac{\sum_{k=1}^n LW-R(k)}{n} \quad (7)$$

其中, $LW-R(k)$ 是第 k 块图像 R 分量的加权均值, $L-sp(i,j)$ 则是当前块里的相对坐标为 (i,j) 的点的亮度带入 $L-sp$ 方程的值, $R_j(k)$ 表示第 k 块即当前块内相对坐标为 (i,j) 的点的 R 分量值。而 $\overline{LW-R}$ 就是整幅图像 R 分量的加权均值了。 G, B 分量也是类似得到。

最后, 将加权均值代入 (2) 式, 进行类似 GW 算法的自动白平衡。

2.6 标准差亮度加权灰度世界算法 SDLWGW (Standard Deviation Luminance Weighted Gray World Assumption)

结合 SDWGW 和 LWGW 的特点, 形成了一种新

的算法, 这就是标准差亮度加权灰度世界算法。它包含了前两种算法, 对分块的图像块间用标准差进行加权, 块内又用各个点的亮度作为权重计算整幅图像的三色分量的均值。具体算法如下。

先计算每一块图像的亮度加权像素均值, 同 (7) 式。

$$LW-R(k) = \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} \frac{L-sp(i,j)}{\sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} L-sp(i,j)} \times R_j(k) \quad (8)$$

接着对每一块图像以标准差作为权重, 求出整幅图像各颜色分量的加权均值, 同 (6) 式。

$$SDW-R = \sum_{k=1}^n \frac{Rstd(k)}{Rstd(i)} \times LW-R(k) \quad (9)$$

最后按 (2) 式的 GW 算法自动白平衡。

2.7 亮度加权灰度世界算法与 PR 正交组合算法 QCLWGP (Quadratic Combining Luminance Weighted Gray world & Perfect Reflector Assumption)

这里还要介绍的一种正交组合算法就是亮度加权灰度世界算法与 PR 正交组合算法, 把 LWGW 方法与 PR 方法用二次方程相结合。结合的方法如 2.3 节 QCGP 算法中的 (4) 式类似, 具体步骤这里也就不再赘述。

2.8 各种算法的优缺点分析

如表 1 所示, 根据仿真结果和算法步骤分析得到各种算法的优缺点如下。

表 1 各算法优缺点分析

	GW	PR	QCGP	SDWGW	LWGW	SDLWGW	QCLWGP
计算量	简单快速	计算量少	有所增加	急剧增加	较大, 但少于 SDWGW	大大增加	极大的增加了计算量
亮度保持	不能保持, 重复处理一副图像可能变的很暗	保持了一定的亮度	算法收敛, 多次处理结果一致	可能由于对大块单一颜色的忽略而过度白平衡	很好的保持白平衡后图像亮度	很好的保持图像亮度	算法收敛
色偏图像校正效果	会造成严重的颜色偏差	对严重偏色图像的校正效果不好	对单一颜色的图像仍不能达到白平衡	对于严重偏色的图像效果很好	对严重色偏的图像效果很好	对严重偏色图像效果很好	对偏色的图像效果也很好
过度校正	会出现过度校正	不会出现	不会有过度校正	会有轻微过度校正	对轻微色偏的图像会出现校正过度	轻度偏色图像会出现校正过度	不会校正过度
限制	对不满足 GW 假设的图像白平衡效果很差	图像的最亮的点/部分, 不一定为白色所产生的误差	在 GW 和 PR 两种假设中任意一种严重不符时效果会很差。	同 GW	同 GW	同 GW	同 QCGP, 同时要求大量寄存器

3 仿真结果及评价

本章将展示上述算法的仿真结果, 并给予评价, 包括客观评价和主观评价两部分。

一般说来, 照相设备的一帧图像的白平衡参数会用于下一帧图的自动白平衡。本文不会考虑这种情况, 一副图像得到的白平衡参数只会用于同一幅图像的白平衡。

3.1 仿真结果展示

由于全部的仿真结果太多, 这里只选择了两组白平衡结果图像为例。

从图上可以看见,GW,SDWGW,LWGW 和 SDLWGW

几种基于灰度世界理论的算法产生了过度校正, 即高温的图像经白平衡变成了略低色温, 或是低温的图像变成了高温。而 PR 方法的自动白平衡的程度稍显不足。

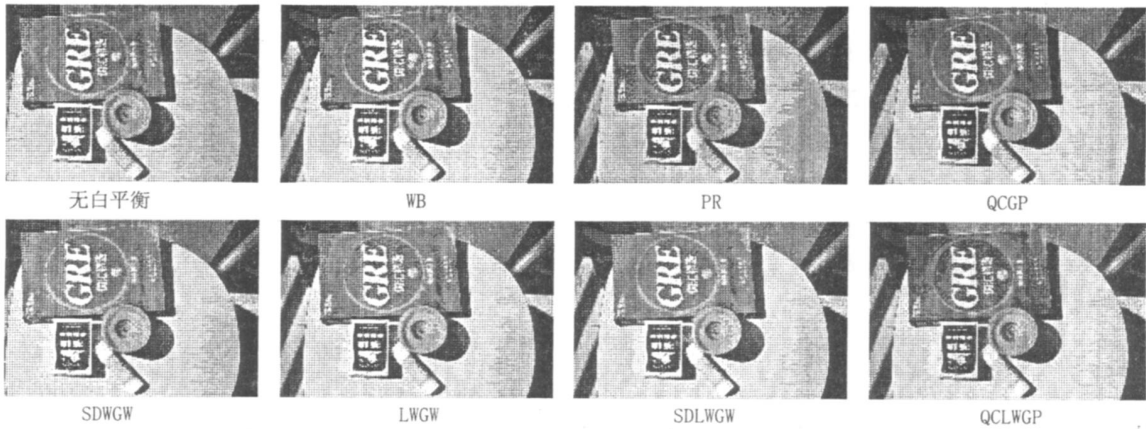


图2 高温自动白平衡结果

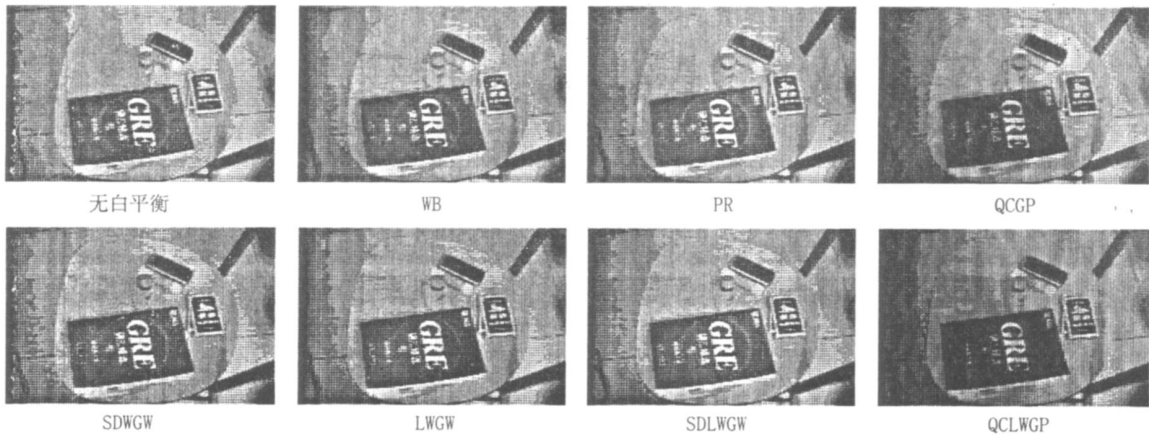


图3 低温自动白平衡结果

3.2 客观评价^[5]

对同一幅图像反复进行自动白平衡, 直到其达到了白平衡。而各种白平衡算法的结果是否达到了白平衡的要求, 以下式为一个判断依据:

$|R_{ave} - G_{ave}| \leq 20; |B_{ave} - G_{ave}| \leq 20 \quad (10)$

对仿真结果的 50 组图像, 计算它们与手动白平衡图像之间峰值信噪比 PSNR, $PSNR = 10 \times \log_{10}((2^n - 1)^2 / MSE)$ 。其中, MSE 是手动白平衡图像与自动白平衡图像之间的均方误差。PSNR 的均值和标准方差列表如下。

表 2 仿真结果图像的平均 PSNR 与 STD

	GW	PR	QCGP	SDWGW	LWGW	SDLWGW	QCLWGP
PSNR (dB)	31.60	33.15	32.51	32.51	31.68	32.43	32.57
STD	12.23	7.79	12.32	12.35	12.37	12.35	12.33

由表 2 可以看出, PR 算法的平均信噪比最好, 其次是 QCLWGP。而峰值信噪比的标准方差则可以

表现出自动白平衡算法的稳定度, 这方面可以看出, PR 算法的适用性和稳定性最广。因此, 客观评价看来, PR 算法最好。

3.3 主观评价

对于白平衡算法, 主观评价比客观评价更为重要。因为, 客观评价可能并不能真正的代表视觉效果的好坏, 而白平衡的目的正是模拟人的视觉的色彩恒定特性。

主观评价的方法是, 由 50 组图像中抽取 20 组。有 7 个人对各种白平衡算法结果进行评价。评价的标准为从很差到最优给以 0~ 5 分的打分, 允许 0.5 的分数精确度。

表 3 主观评价结果

	GW	PR	QCGP	SDWGW	LWGW	SDLWGW	QCLWGP
平均得分	2.52	3.64	2.92	2.73	2.56	2.81	2.99
得分 STD	0.92	0.80	0.94	0.85	0.90	0.85	0.87

对主观评价的结果,也从平均得分和得分的标准方差来观察,结果如表 3 所示。从主观评价结果看出,PR 算法仍为最优,得分最高且稳定。

4 算法复杂度分析

首先要提到的是标准差的计算,为了硬件上实现,公式改变如下:

std = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n - 1}} \Rightarrow std = \frac{\sum_{i=1}^n |xi - \bar{x}|}{n - 1} \quad (11)

表 4 算法复杂度的分析

	GW	PR	QCGP	SDWGW	LWGW	SDLWGW	QCLWGP
加法运算	3N	3N	3N	9N	4N	10N	11/256N
乘法运算	3	3	36	N/256	3N	3N	6N
除法运算	7	6	14	9N/256	3N/256	9N/256	6N/256
绝对值运算	无	无	无	3N	无	3N	无
比较运算	3N!	N!	3N!	无	无	无	3N/256
运算复杂度	简单	简单	简单	复杂	较复杂	复杂	较复杂
硬件实现复杂度	加法和比较运算为主	加法和比较运算为主	加法和比较运算为主	大量各种运算,实现困难	有一定量的加法和乘除运算,同时要求大量存储空间	大量各种运算,实现困难	有一定量各种运算,实现困难,同时要求大量存储空间

5 结束语

自动白平衡到现在为止,还没有公认的最优算法。只能从客观、主观评价和算法复杂度方面综合得到 PR 算法和 QCGP 算法的稳定性和适用性较广且易于硬件实现。但对这两种方法,仍可以改进,如在 PR 算法中更精确的定义最亮部分,或是调整 GCGP 中 GW 算法和 PR 算法的权重,都可以进一步提高自动白平衡的效果。

参 考 文 献:

[1] [EB/OL]http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/whitebalance.htm.
[2] Yung Cheng Liu, Weir Hsin Chan, YeQuang Chen. Automatic white

balance for digital still camera[J]. Consumer Electronics, IEEE Transactions on, Aug. 1995, 41(3): 460-466.
[3] Lam E Y. Combining gray world and retinex theory for automatic white balance in digital photography[J]. Consumer Electronics, 2005. (ISCE 2005). Proceedings of the Ninth International Symposium on, 14-16 June 2005: 134-139.
[4] Hong Kwai Lam, Au O C, Chi Wah Wong. Automatic white balancing using luminance component and standard deviation of RGB components [image preprocessing][C]. Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. Proceedings. (ICASSP 04). IEEE International Conference on, 17-21 May 2004, 3: iii-493-6.
[5] 胡昌友. 基于硬件实现的数码相机自动白平衡算法[D]. 复旦大学硕士学位论文, 2007-05-12.

责任编辑: 李光辉