

基于直方图分割的彩色图像增强算法

胡琼 汪荣贵 胡韦伟 杨万挺

(合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009)

摘要 针对直方图均衡化直接对彩色图像处理会导致图像色彩失真的情况,在对传统的直方图均衡化方法进行改进的基础上,提出了一种新的带色彩恢复的均衡化算法。该算法对于彩色图像 R,G,B 各个分量直方图的灰度直方图,首先根据其灰度中值和分割直方图等面积原则进行两次分割,同时对分割后的各子灰度直方图分别进行均衡化处理;然后通过计算 R,G,B 各分量直方图的灰度级总数占原彩色图像灰度级总数的比例,将均衡化处理后的 R,G,B 各分量直方图进行合并。实验表明,该算法对彩色图像处理具有较好的增强处理效果。

关键词 直方图均衡化 图像增强 直方图分割 彩色图像

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)09-1776-06

Color Image Enhancement Based on Histogram Segmentation

HU Qiong, WANG Rong-gui, HU Wei-wei, YANG Wan-ting

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract A new method is proposed in this paper to improve the traditional histogram equalization, mainly to solve the problem of color distortion of the color images caused by the direct usage of histogram equalization. This algorithm firstly divides the histograms of three channels of R, G, and B twice based on the mean of the grey levels and the principle of equal area. Then it equalizes the sub-histogram respectively. Finally, the processed images of each channel are merged by calculating the proportion of the three channels in the original image. The experiments indicate that the proposed method is quite effective in processing color images.

Keywords histogram equalization, image enhancement, histogram segmentation, color image

1 引言

图像增强是图像分析与处理的一个重要的预处理过程,是利用各种数学方法和变换手段来提高图像的对比度和清晰度,以突出人或其他接收系统感兴趣的^[1]。由于近几年彩色图像、视频的普及,彩色图像增强成为近几年关注的一个热点,采用直方图均衡化对彩色图像进行增强,增强的方式主要有以下几种:(1)先将彩色图像分成 R,G,B 3 幅子图像,然后分别对 3 幅子图像进行处理合并,但这种方法处理后的图像色彩失真现象严重^[2];(2)直

接对 3 维彩色图像进行处理,并计算出 R,G,B 3 幅子图像的联合概率密度,再根据此概率密度进行直方图均衡化,但是计算联合概率密度非常复杂,不仅运算量大,且算法困难^[3];(3)将图像从 RGB 色彩空间转化到 HIS(hue-intensity-saturation)色彩空间,然后对亮度分量 I 进行增强,但是由于需要进行色彩空间的相互转化,仍会增加计算量^[4];最近又有学者提出基于色调不变的彩色图像增强算法^[5],该算法仍直接对 R,G,B 分量进行处理,同时色彩保持有一定提高,但是其基础在解决 RGB 色彩空间到 HIS 色彩空间转换的简化,运算量大、实时性不高。

本文提出了一种新的彩色图像直方图均衡化方

基金项目:国家自然科学基金项目(60575023,60705015);安徽省自然科学基金项目(070412054)

收稿日期:2008-03-27;改回日期:2008-05-28

第一作者简介:胡琼(1982~),女。现为合肥工业大学计算机与信息学院硕士研究生。研究方向为图像处理、目标检测。

E-mail:qiong1016@126.com

法。该方法分别按图像灰度均值和灰度直方图等面积原则对 R,G,B 各分量量子图的灰度直方图做分割,首先生成 4 个子灰度直方图,同时对生成的 4 个子灰度直方图进行均衡化处理,然后计算 R,G,B 各分量量子图的灰度级占原彩色图像灰度级总数的比例,并按照此比例合并 R,G,B 各分量量子图。实验表明,用该方法对彩色图像进行增强处理,不仅具有较低的运算复杂度,而且合并后的图像,在色彩上具有良好的视觉效果。

2 直方图分割与均衡化

直方图均衡化就是把给定图像的灰度直方图分布改造成近似均匀的直方图分布,使得输出图像的像素灰度的概率密度均匀分布。由于直方图均衡化算法是用于对灰度图像进行处理的算法,因此在利用其处理彩色图像时是对每个分量分别进行处理。本文提出的算法是在进行直方图分割后,再根据各自区间内的直方图进行均衡化处理。

以彩色图像的 R 分量量子图为例,设 $R = \{R(i, j)\}$ 具有 L 级灰度级,记为 $\{R_0, R_1, \dots, R_{l_e}, \dots, R_m, \dots, R_{ue}, \dots, R_{L-1}\}$,其中第 m 个灰度级 R_m 为图像灰度中值。首先根据 R_m 对 R 分量量子图灰度直方图进行分割,即

$$R = R^L \cup R^U \quad (1)$$

其中

$$R^L = \{R(i, j) \mid R(i, j) \leq R_m, R(i, j) \in R\} \quad (2)$$

$$R^U = \{R(i, j) \mid R(i, j) > R_m, R(i, j) \in R\} \quad (3)$$

该方法处理后的图像的灰度均值为

$$\bar{R} = \frac{R_m + R_c}{2}$$

其中

$$R_c = R = \frac{R_0 + R_{L-1}}{2} \quad (4)$$

由上面的分析可知,先根据图像灰度中值 R_m 分割后再进行直方图均衡化,能在一定程度上保持图像的亮度信息。可是仅进行一次分割有时并不能取得足够好的视觉效果,但可以对分割后的子块再根据其灰度中值继续进行分割,其分割次数 n 与处理后的图像灰度均值有如下关系^[6]:

$$n = 0, \bar{R} = R_c$$

$$n = 1, \bar{R} = \frac{R_m + R_c}{2}$$

$$n = 2, \bar{R} = \frac{3R_m + R_c}{4}$$

...

$$n = l, \bar{R} = \frac{(2^l - 1)R_m + R_c}{2^l} \quad (5)$$

由此可知,当 n 越趋近于 l ,则图像的亮度信息保持度越高。但 n 并不能无限制的增加,因为,若图像分割成过的多子图像后,再对其进行直方图均衡化,则会降低图像的增强效果。

因此在对 R 分量量子图先根据图像灰度中值 R_m 分割一次后,再根据最大信息熵理论^[6]和按照等面积分割原则,用第 le 个灰度级 R_{le} 、第 ue 个灰度级 R_{ue} 分别对分割后两部分 R^L 和 R^U 进行灰度直方图等面积分割,即可使得在保持原图亮度的基础上进一步提高增强效果。这时,本文对 R 分量量子图灰度直方图进行分割后得到 4 个灰度级区域,即

$$R = R_1^L \cup R_2^L \cup R_1^U \cup R_2^U \quad (6)$$

其中

$$R_1^L = \{R(i, j) \mid R(i, j) \leq R_{le}, \forall R(i, j) \in R^L\}$$

$$R_2^L = \{R(i, j) \mid R_{le} \leq R(i, j) \leq R_m, \forall R(i, j) \in R^L\}$$

$$R_1^U = \{R(i, j) \mid R_m \leq R(i, j) \leq R_{ue}, \forall R(i, j) \in R^U\}$$

$$R_2^U = \{R(i, j) \mid R(i, j) > R_{ue}, \forall R(i, j) \in R^U\} \quad (7)$$

对上述分割后的 4 个灰度级区域分别进行直方图均衡化处理,首先求出其概率密度,它们分别为

$$P_1^L(R_k) = \frac{n_{k,1}^L}{n_1^L} \quad P_2^L(R_k) = \frac{n_{k,2}^L}{n_2^L} \quad (8)$$

$$P_1^U(R_k) = \frac{n_{k,1}^U}{n_1^U} \quad P_2^U(R_k) = \frac{n_{k,2}^U}{n_2^U}$$

其中, $n_{k,1}^L, n_{k,2}^L, n_{k,1}^U, n_{k,2}^U$ 代表着 4 个灰度级区域 $R_1^L, R_2^L, R_1^U, R_2^U$ 中的灰度级为 R_k 的像素个数, $n_1^L, n_2^L, n_1^U, n_2^U$ 是 4 个子图中总的像素数,而其累积分布函数分别是:

$$\begin{aligned} C_1^L(x) &= \sum_{j=0}^{le} P_1^L(R_j) & C_2^L(x) &= \sum_{j=le+1}^m P_2^L(R_j^L) \\ C_1^U(x) &= \sum_{j=m+1}^{ue} P_1^U(R_j) & C_2^U(x) &= \sum_{j=ue+1}^{L-1} P_2^U(R_j) \end{aligned} \quad (9)$$

则各个转换公式分别为

$$\begin{aligned} g_1^L(x) &= R_0 + (R_{le} - R_0)c_1^L(x) \\ g_2^L(x) &= R_{le+1} + (R_m - R_{le+1})c_2^L(x) \\ g_1^U(x) &= R_{m+1} + (R_{ue} - R_{m+1})c_1^U(x) \\ g_2^U(x) &= R_{ue+1} + (R_{L-1} - R_{ue+1})c_2^U(x) \end{aligned} \quad (10)$$

对处理后的图像的灰度均值分析如下:

$$\begin{aligned} \bar{R} &= E(R | R \leq R_{le})P(R \leq R_{le}) + \\ &E(R | R_{le} \leq R \leq R_m)P(R_{le} \leq R \leq R_m) + \\ &E(R | R_m \leq R \leq R_{ue})P(R_m \leq R \leq R_{ue}) + \\ &E(R | R > R_{ue})P(R > R_{ue}) \\ &= 1/4 \left(\frac{R_0 + R_{le}}{2} + \frac{R_{le} + R_m}{2} + \frac{R_m + R_{ue}}{2} + \frac{R_{ue} + R_{L-1}}{2} \right) \\ &= 1/4 \left(\frac{R_0 + R_{L-1}}{2} + R_m + R_{ue} + R_{le} \right) \\ &= 1/4 (R_c + R_m + R_{ue} + R_{le}) \end{aligned} \quad (11)$$

由上式可以看出,在处理后图像的灰度均值中,保留了原图的灰度均值 R_m 和基于最大熵理论的 R_{ue}, R_{le} 参数。因此用该方法对图像进行增强处理,不仅考虑到图像处理后的视觉效果,而且保证了图像增强效果。

3 色彩恢复

设 $R(i, j), G(i, j), B(i, j)$ 分别表示输入图像的 R, G, B 3 个分量量子图的灰度级数,对于原始图像中的每个像素点,其对应的 R, G, B 分量量子图的灰度级数存在一定的比例关系。设 $\tilde{R}(i, j), \tilde{G}(i, j), \tilde{B}(i, j)$ 分别表示经过直方图增强后的图像中的 R, G, B 3 个分量量子图的灰度级数,增强后的 R, G, B 各分量量子图之间的灰度级比例不一定保持不变,即公式

$$R(i, j) : G(i, j) : B(i, j) = \tilde{R}(i, j) : \tilde{G}(i, j) : \tilde{B}(i, j) \quad (12)$$

不一定成立,也就是说,经过直方图增强后的图像中, R, G, B 分量量子图的灰度级数的比例关系发生了变化,从而导致处理后的图像色彩失真。

因此,本文引入了一个色彩恢复因子 C_r , 其表达式为

$$\begin{aligned} C_r(i, j) &= f[\alpha \tilde{I}_r(i, j)] \\ \tilde{I}_r(i, j) &= I_r(i, j) / \sum_{n=1}^N I_n(i, j) \quad (13) \\ (r &= R, G, B) \end{aligned}$$

式中, C_r 表示彩色通道的色彩恢复系数, $I_r(i, j)$ 表示第 r 个分量量子图的灰度级总数, $N = 3$, 即 R, G, B 3 个分量。 $\sum_{n=1}^N I_n(i, j)$ 表示原彩色图像中 R, G, B

各分量的灰度级之和,即原彩色图像的灰度级总和。 f 是彩色空间的映射函数。由式(13)可知,色彩恢复因子 $C_r(i, j)$ 可根据 $I_r(i, j)$ 得到,而 $\tilde{I}_r(i, j)$ 则分别表示 R, G, B 3 个分量量子图的灰度级占原彩色图像总灰度级的比例,从而使得输出图像与输入图像各分量量子图的灰度级的比例关系有一定的关联。

由于人眼对图像亮度的感知具有对数或立方根数学形式的响应,故本文取 $f() = \log()$, 即在对数域中进行处理,则式(13)可以表示为

$$C_r(i, j) = \log \left[\alpha \times I_r(i, j) / \sum_{n=1}^N I_n(i, j) \right] \quad (14)$$

为了保证色彩恢复因子为正数,又用 $\log(1+x)$ 来代替 $\log(x)$, 则式(14)又转化为

$$C_r(i, j) = \log \left[1 + \alpha \times I_r(i, j) / \sum_{n=1}^N I_n(i, j) \right] \quad (15)$$

对于参数 α 的选择,可根据实验进行调节,经过比较,本文实验选择 $\alpha = 125$ 。对彩色图像的 3 个分量量子图分别采用本文提出的直方图分割的均衡化方法进行处理后,再根据算出的各自比例因子 C_r 合并 3 个分量,即完成彩色图像的增强处理。

4 实验结果与分析

为验证本算法的有效性,本文选取了图 1(a) 的 R 分量量子图进行分步处理,本算法在 Pentium(R)4 CPU\2.8 GHz\512 MB 内存\winXP 的计算机上,使用 Matlab 7.0 编程。

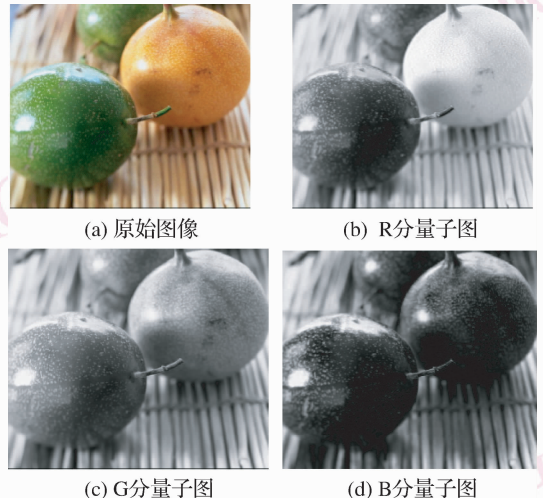


图 1 原彩色图像及 R, G, B 各分量量子图

Fig. 1 The original image and every channel image

图 1(b) ~ 图 1(d) 分别是图 1(a) 的 R, G, B 3 个分量子图。对 R 分量子图, 首先按照其灰度直方图均值 R_m 进行一次分割后, 再进行均衡化处理, 而处理效果图如图 2(a), 其对应的直方图如图 2(b) 所示; 然后再对分割后的两部分按照灰度级 R_{lc}, R_{uc} 进行等面积分割后再进行均衡化处理, 而最终处理效果图如图 2(c) 所示, 其对应的直方图如图 2(d) 所示。

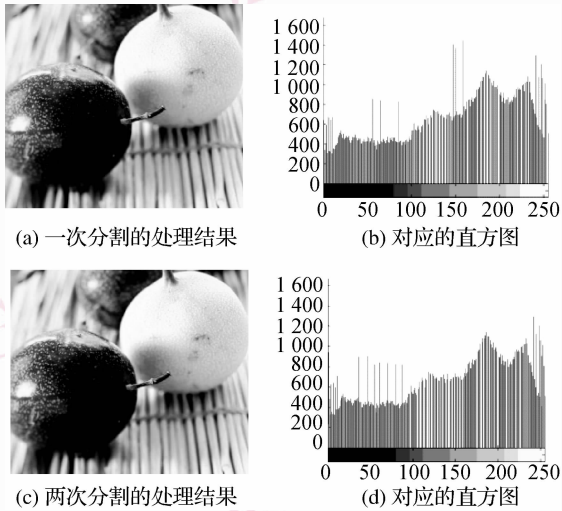


图 2 不同分割的处理结果

Fig. 2 The results of different segment algorithm

从上述效果图可以看出, 仅进行一次分割处理的结果比原图中水果的光泽度虽有了一定的提高, 但与本文提出的算法进行两次分割处理的结果相比, 还有一定的差距。图 2(c) 不仅在水果的光泽度上有了提高, 而且在细节方面的增强效果也很明显。

本文再将 R 分量子图直接进行全局直方图均衡化(GHE, global histogram equalization)处理, 其基本思想是根据整幅输入图像的灰度概率分布来确定输出图像的灰度值, 与本文算法处理后的结果比较如图 3 所示。

从上面处理结果的对比可看出, 经过 GHE 算法处理后的图片明显比原图暗, 且细节部分损失明显。本文算法处理后的水果细节增强明显, 视觉效果很好。

图像的灰度均值体现了图像的平均亮度, 而灰度标准差则反应的是图像细节方面的信息, 两者能在很大程度上反应图像的质量。对 R 分量子图采用上述几种算法处理结果后的图片再进行灰度均值

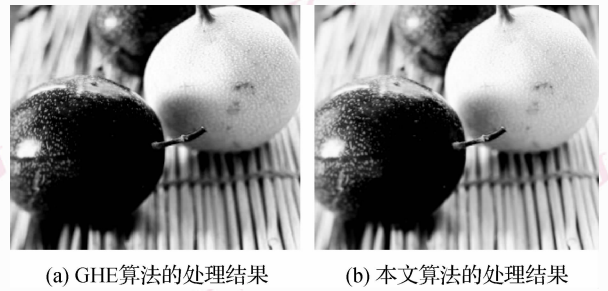


图 3 R 分量子图两种方法的处理结果比较

Fig. 3 The comparison of 2 algorithms on R-channel

和灰度标准差分析(如表 1 所示), 由此可知, 经过 GHE 算法处理的图片虽然对比度有了一定的提高, 但是其是以损失图像的灰度均值为代价的。经过本文算法处理后的图片不仅对比度有了一定的提高, 且视觉效果较好。

表 1 R 分量子图几种方法处理后的灰度均值和标准差比较

Tab.1 The comparison of the mean gray and standard by several algorithms on R-channel

	原始图片	GHE 算法处理结果	一次分割结果	本文算法处理结果
灰度均值	145.629 8	127.515 1	144.334 5	144.739 0
灰度标准差	66.182 6	74.847 6	72.765 0	74.579 2

对原图的 G, B 分量子图均采用本文算法进行处理后的结果与原图的对比分别如图 4、图 5 所示。

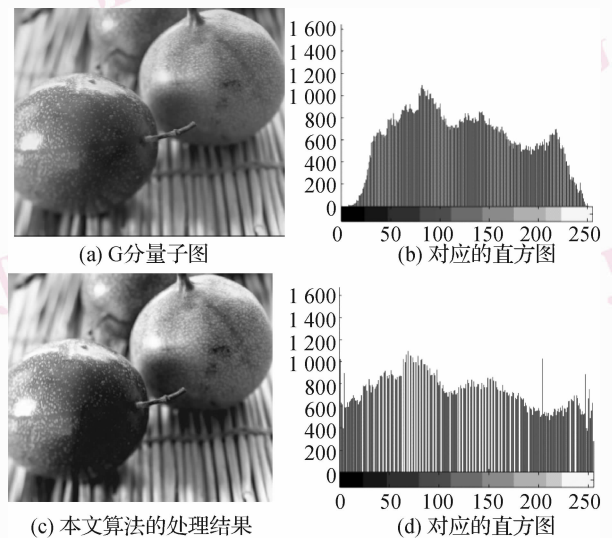


图 4 G 分量子图本文算法的处理结果

Fig. 4 The result of G-channel using our algorithm

G、B 分量子图几种处理方法处理后的灰度均值与灰度标准差比较分别如表 2、表 3 所示。

也有一定损失,因为 Retinex 算法不适用于色彩变化较大图片的增强处理,但其细节方面的处理效果好。

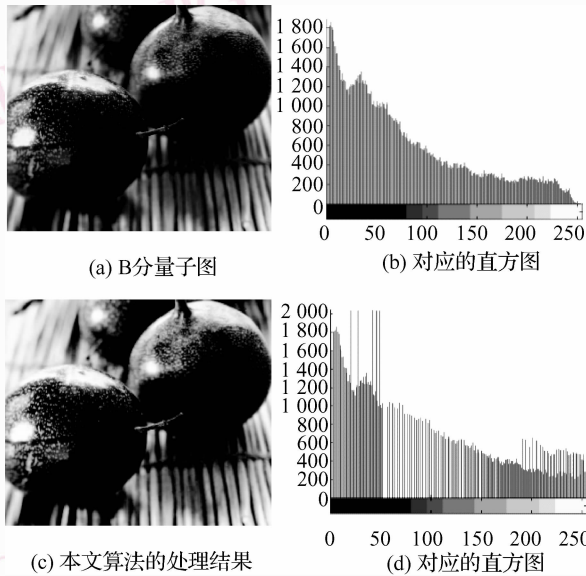


图 5 B 分量子图本文算法的处理结果

Fig. 5 The result of B-channel using our algorithm

表 2 G 分量子图几种方法处理后的灰度均值和标准差比较

Tab. 2 The comparison of the mean gray and standard by several algorithms on G-channel

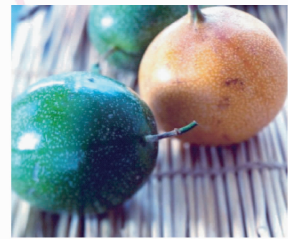
	原始图片	GHE 算法 处理结果	一次分割 结果	本文算法 处理结果
灰度均值	123.055 5	127.580 5	123.429 5	122.872 4
灰度标准差	58.484 4	74.771 6	73.655 7	73.930 1

表 3 B 分量子图几种方法处理后的灰度均值和标准差比较

Tab. 3 The comparison of the mean gray and standard by several algorithms on B-channel

	原始图片	GHE 算法 处理结果	一次分割 结果	本文算法 处理结果
灰度均值	75.389 4	127.545 5	93.079 4	92.756 7
灰度标准差	63.523 4	74.687 7	76.500 2	77.830 8

Retinex 算法是目前增强处理彩色图像较好的算法^[7-10]之一,现将本文算法与其进行图像增强处理的实验对比分析。图 6(a)是对原彩色图像(图 1(a))直接采用直方图均衡化进行处理的结果,图 6(b)是经过 Retinex 算法增强处理后的结果。与本算法的处理结果图 6(c)的比较可看出,采用直方图均衡化方法直接进行处理,其色彩较原彩图发生了很大变化。经过 Retinex 算法处理后的图片,色彩



(a) GHE算法的处理结果



(b) Retinex算法的处理结果

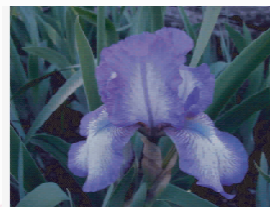


(c) 本算法的处理结果

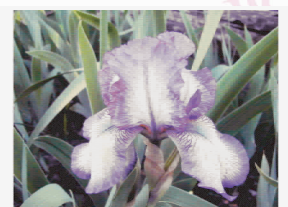
图 6 3 种算法的处理结果比较

Fig. 6 The comparison of 3 algorithms

图 7 ~ 图 10 是采用不同算法对一些彩色图片处理后的结果与其他方法的比较,其中图 7(a) ~ 图 10(a)是原始图片;图 7(b) ~ 图 10(b)是直接经过 GHE 算法处理后的图片,由图 7(b)、图(8) b 中可以看出,虽然两幅花的图片都得到了了一定的增强,但与原图相比,色彩却发生了很大变化;图 7(c) ~ 图 10(c)是用 Retinex 算法处理后的结果,其在细节方面虽然比全局直方图均衡化的处理效果好,但其算法复杂;图 7(d) ~ 图 10(d)是用本文算法进行处理



(a) 原图



(b) GHE算法的处理结果



(c) Retinex算法的处理结果



(d) 本文算法的处理结果

图 7 几种算法的处理结果

Fig. 7 The results of several algorithms



图 8 几种算法的处理结果
Fig. 8 The results of several algorithms

的结果,相较于原图,不仅增强效果显著,图片的色彩保持较好,而且计算简单。

5 结 论

本文提出了一种新的彩色图像增强算法,该方法按图像灰度均值和分割后灰度直方图等面积原则对 R,G,B 各分量直方图的灰度直方图分别进行两次分割,首先生成 4 个子直方图,同时对这 4 个子直方图进行均衡化处理;然后通过分别计算 R,G,B 各分量直方图灰度级在原彩色图像灰度级总数中所占的比例,并按照该比例进行 R,G,B 分量直方图合并。这样不仅可保证图像的增强效果,并可改善增强后图像的视觉效果,同时可避免彩色图像色彩空间转换的复杂运算。实验结果表明,采用本文算法进行彩色图像增强,可得到较好的增强效果。

参考文献 (References)

- Gonzalez R C. Digital Image Processing(2nd)[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003:59-170. [冈萨雷斯. 数字图像处理(第二版)[M]. 北京:电子工业出版社, 2003:59-170.]
- Bassiou N, Kotropoulos C. Color image histogram equalization by absolute discounting back-off [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2007, 107(1-2):108-122.
- Yang Yong-yong, Lin Xiao-zhu. Research on the comparison of color image enhancement techniques [J]. Journal of Beijing Institute of Petro-chemical Technology, 2006, 14(3):43-47. [杨永勇 林小竹. 彩色图像增强的几种方法研究比较[J]. 北京石油化工学院学报, 2006, 14(3):43-47.]
- Naik Sarif Kumar, Murthy C A. Hue preserving color image enhancement without gaumt problem [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(12):1591-1598.
- Wang Ping, Cheng Hao, Luo Ying-xin. Color image enhancement based on hue invariability [J]. Journal on Image and Graphics, 2007, 12(7):1173-1177. [王萍,程号,罗颖昕. 基于色调不变的彩色图像增强[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(7):1173-1177.]
- Wan Yu, Chen Qian and Zhang. Bao-Min. Image enhancement based on equal area dualistic sub-image histogram equalization method [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1999, 45(1): 68-75.
- Edwin H Land. The Retinex theory of color vision [J]. Scientific American, 1977, 237(6):108-128.
- Jiang Xing-fang, Jin Long, He Long-hua, et al. Research of the color remote sensing image fusing method based on Retinex and edge extraction [J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(3):565-567. [江兴方,金龙,何隆华等. 基于 Retinex 彩色图像增强及其闭合区域提取的研究[J]. 光子学报, 2007, 36(3):565-567.]
- Jobson D J, Rahman Z, Woodell G A. Retinex image processing: improved fidelity to direct visual observation [A]. In: Proceedings of IS&T/ SID 4th Color Imaging Conference; Color Science, Systems and Applications [C], Scottsdale, Arizona, USA, 1996. 1242-1261.
- Choi Doo Hyun, Jang Ick Hoon. Color image enhancement based on single-scale Retinex with a JND-based nonlinear filter [A]. In: Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems [C], New Orleans, Louisiana, USA, 2007: 3948-3951.

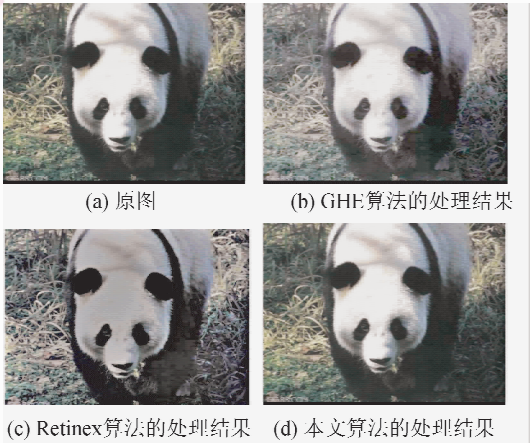


图 9 几种算法的处理结果
Fig. 9 The results of several algorithms

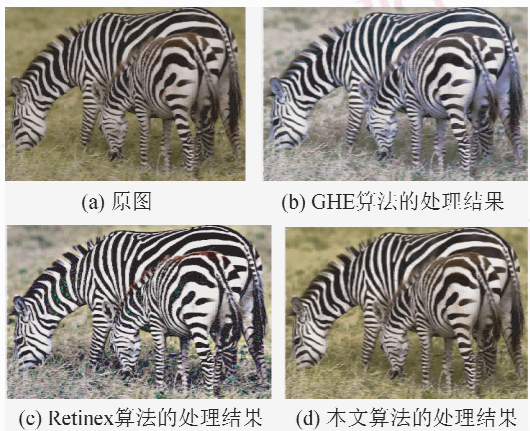


图 10 几种算法的处理结果
Fig. 10 The results of several algorithms