

一种新的基于 MSRCR 光照补偿算法^①

冯亚丽, 黄 静

(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 大庆 163318)

摘 要: 对质量较差的人脸图像进行光照补偿, 多尺度 Retinex 算法是传统的算法中比较有效的一种, 但是 Retinex 算法处理的人脸图像会产生“泛白、颜色失真、对比度低”现象, 为了提高人脸识别率, 为此提出了一种新的带色彩恢复的多尺度 Retinex 算法(MSRCR)对彩色图像进行光照补偿. 在对 MSRCR 理论进行研究的基础上, 对原有算法进行改进, 使用了快速傅里叶变换, 运行速度快于已有传统方法. 经过实验证明, 改进算法使图像的对比度, 亮度, 隐藏的细节等方面都有很大的增强. 论述了该算法的原理和实现方法, 同时通过实验将其与直方图均衡, Gamma 变换等方法进行比较. 实验结果表明: 该算法对彩色图像光照补偿有很好的效果.

关键词: 人脸识别; 直方图均衡化; Gamma; MSRCR

Light Compensation Algorithm Based on MSRCR

FENG Ya-Li, HUANG Jing

(School of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: Multi-Scale Retinex algorithm is one of the effective traditional algorithms on illumination compensation to face image of poor quality. but the phenomenon such as the white and color distortion, low contrast, which might be produced during process of the retinex algorithm to face images. In order to improve the face recognition rate under complex light conditions, this paper proposes a new and multi-scale retinex with color restoration for light compensation of color images. On the basis of studying of MSRCR theory, bettering the original algorithm, and using the fast Fourier algorithm, so its speed is faster than that of the traditional method. Experiment proved the contrast, brightness, hidden details of images are enhanced by using the improved algorithm. This paper describes the principle and implementation method of the algorithm and at the same time compares it with histogram equalization, Gamma transform methods through experiments. Results of experiments show that good effects can be produced while using the algorithm for light compensation of color images.

Key words: face recognition; histogram equalization; Gamma; MSRCR

从公共场所逐渐增多的摄像头不难看出, 视频监控已经成为现在社会一种常规的安全防范手段. 但图像在获取的过程中, 光照是非人工控制的, 导致获取的图像对比度差, 分辨率低, 这就给人脸检测、人脸跟踪、人脸识别带来了相当大的困难. 目前, 解决光照问题的方法大体可以分为两类: 基于模型的方法和基于预处理的方法^[1]. 基于模型的方法性能比较好的有自

商图像, 球面谐波和光照圆锥法. 但由于这些方法的计算量和存储量都很大, 难以满足实时性的要求. 而基于预处理的方法实现简单, 运算量小. 其中: 包括经典的直方图均衡化, Gamma 校正等. 但由于其只是对图像全局进行处理, 无法得到细节增强. 为此, 本文提出了一种基于带色彩恢复的多尺度 Retinex 算法(MSRCR)对质量较差的人脸图像进行光照补偿.

^① 基金项目:黑龙江省教育厅自然科学基金(11552003)

收稿时间:2011-12-10;收到修改稿时间:2012-01-17

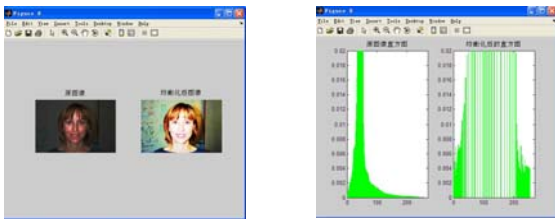
经过实验证明,该方法能够较好的恢复图像中暗区域的信息,并且处理后的图像具有良好的色彩保真度,克服彩色失真的缺陷.与此同时大大提高了图像的整体对比度,更大程度突出图像中的肤色区域特征,使其更适合后续的人脸检测,从而提高人脸识别率.

1 典型的基于预处理光照补偿算法

1.1 彩色图像的直方图均衡化

直方图均衡化就是使图像的灰度级均匀分布.通过直方图均衡化,调整图像的亮度与对比度,使图像看起来更加清晰,进而从一定程度上削弱了光照的影响^[2].

通常直方图均衡化是对灰度图像的,而直接对彩色图像的各个分量进行直方图均衡化常常引起彩色失真,这是因为彩色图像的三个分量是互相关联的.如图 1 所示.



(a)直方图均衡化 (b)对应的直方图

图 1 对彩色图直方图均衡化

1.2 彩色图像 Gamma 变换

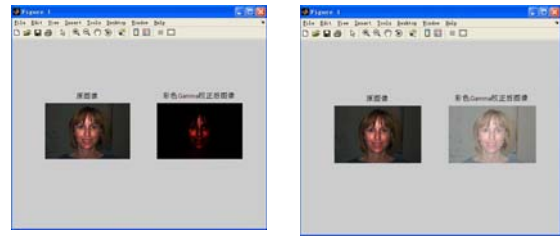
传统的 Gamma 变换是基于灰度图像的,本文提出了基于彩色图像 Gamma 变换算法,该算法不但可以对彩色图像进行 Gamma 变换,而且算法简单直观.

核心公式如下式:

$$J(i, j, k) = \left(\left(\frac{255}{Gamma} \right)^{Gamma} \times I(i, j, k) \right)^{\frac{1}{Gamma}}$$

在计算机中,一幅图像是用矩阵表示 $I(i,j,k)$, 其中: i, j 分别表示高和宽, k 表示彩色图像中红色,绿色,蓝色三个分量(RGB),取值范围为 1, 2, 3. $I(i,j,k)$ 为处理前图像的灰度值, $J(i,j,k)$ 为处理后图像的灰度值.取值范围为 (0~255). 与传统的 Gamma 变换不同,当 $Gamma < 1$ 时,图像从整体上降低了亮度;当 $Gamma > 1$ 时,图像从整体上增加了亮度,当 $Gamma = 1$ 时,图像和原图像的亮度相同.由于 Gamma

参数不固定,所以每次都须手动设置,并且很难取到最佳值.如图 2 所示.



(a)Gamma=0.3 (b)Gamma=3

图 2 Gamma 变换图像结果

2 带色彩恢复的多尺度Retinex算法

2.1 MSRCR 的理论

MSRCR 起源于 Retinex 算法,是 1977 年 Edwin Land 提出的.该理论认为一幅图像是由入射分量和反射分量构成的^[3].即:

$$I(x, y) = R(x, y) \cdot L(x, y) \tag{1}$$

其中, $I(x, y)$ 表示被获取的图像; $R(x, y)$ 表示反射分量,即物体本来的面貌,与光照无关,对应于图像的高频部分; $L(x, y)$ 表示入射分量,即光照部分,对应于图像的低频部分.分离入射分量 $L(x,y)$,就有可能有效地剔除光照的影响.随后发展过程出现了多种 Retinex 算法,包括:单尺度的 Retinex (SSR)^[4],多尺度 Retinex 算法(MSR)^[5],带色彩恢复的多尺度算法(MSMCR)^[6-7].

2.1.1 单尺度的 Retinex (SSR)

其表达式为:

$$\begin{cases} R_i(x, y, c) = \log I_i(x, y) - \log [F(x, y, c) * I_i(x, y)] \\ F(x, y, c) = Ke^{-(x^2+y^2)/c^2} \end{cases} \tag{2}$$

其中, $i \in (R,G,B)$ 三个通道, $R_i(x,y)$ 是输出图像; $I_i(x,y)$ 是原图像, $F(x,y,c)$ 表示环境函数, Hurlbert 等人提出用高斯函数作为环境函数,与原图像卷积后用来估计亮度图像 $L(x,y)$; 其中常量 c 是尺度参数, c 的选择可以直接控制图像中有多少细节信息被保留;当选择的 c 比较小时,原图像的细节突出,但是色调会变淡变灰;而当选择的 c 较大时,色彩保持性好,但是细节不够突出.为了平衡细节突出和色调重现,产生多尺度 Retinex 算法.

2.1.2 多尺度 Retinex 算法(MSR)

多尺度 Retinex 算法是将多个 SSR 的输出结果进行加权求和.

其表达式为:

$$R_{MSRi}(x, y) = \sum_{n=1}^N W_n R_i \quad (3)$$

其中, W_n 是与第 n 个尺度 C_n 有关的加权系数. 多尺度对灰度图像的效果很好, 可是通过多尺度 Retinex 算法处理后的图像可能会造成颜色失真, 不能呈现出物体真正的颜色效果, 随后产生带色彩恢复的多尺度算法.

2.1.3 带色彩恢复的多尺度算法(MSMCR)

$$\begin{cases} R_{MSRCR_i}(x, y) = C_i(x, y)R_{MSRi}(x, y) \\ C_i(x, y) = \beta \log[\alpha I'_i(x, y)] \\ I'_i(x, y) = I_i(x, y) / \sum_{i=1}^3 I_i(x, y) \end{cases} \quad (4)$$

其中, C_i 表示第 i 个通道的色彩恢复系数, 起着决定性的作用, 但其值很难选取. β 是增益常数, α 受控制的非线性强度.

2.2 改进的带色彩恢复的多尺度算法

传统的 MSRCR 是直接 在空域进行卷积滤波运算^[8-9], 其运算量相当大, 导致运算时间超长. 本文在卷积运算过程中, 利用快速傅里叶变换(fft)在频域内完成卷积运算. 直接在空域计算时, 其时间复杂度为 $O(n*n)$, 而快速傅里叶变换可以将时间复杂度降低为 $O(n*\lg n)$. 其中: 快速傅里叶变换是将复杂的卷积运算化为简单的乘积运算, 同时具有在频域中将低频与高频分离的特点, 从而缩短了处理时间. 图 3 是将图像 $f(x,y)$ 从空间域经过傅里叶变换变换为频率域 $F(u,v)$, 然后对频谱进行操作和处理; 其中 fftshift 是将低频移到频谱中间, 目的是去除低频部分; 再将其反变换到空间域, 从而得到高频图像. 具体详见图 4 傅里叶变换中频率成分分布示意图. 其中图 5 是图 6 经过傅里叶变换后的频谱, 白色区域是低频部分, 即光照部分. 黑色区域为高频部分, 即图像中物体本来面貌.

$$f(x,y) \xrightarrow{\text{fft}} F(u,v) \xrightarrow{\text{fftshift}} G(u,v) \xrightarrow{\text{ifft}} g(x,y)$$

图 3 傅里叶变换流程图

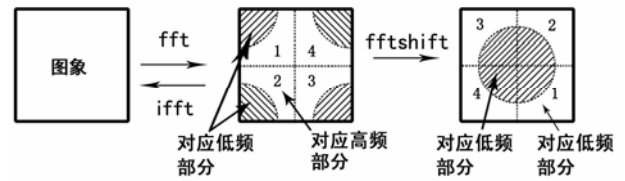


图 4 傅里叶变换中频率成分分布示意图



图 5 灰度图像

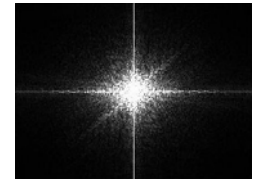


图 6 傅里叶变换后频谱

显示器显示的灰度范围是(0~255), 可是通常 MSRCR 处理的图像像素值会出现负值, 超出了显示器的显示范围. 本文通过 $\text{gain}/\text{offset}$ 对图像进一步调整, 将其表达式调整为:

$$R_{MSRCR_i}(x, y)' = GR_{MSRCR_i}(x, y) + O \quad (5)$$

本文算法的流程图(如图 7):

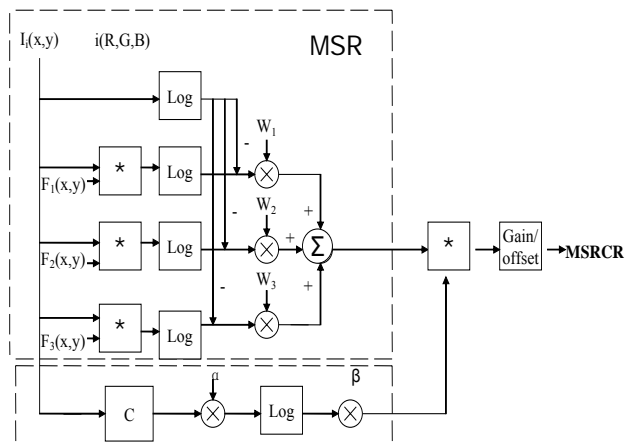


图 7 本文算法流程图

2.3 具体实现步骤

Step1: 将输入的彩色图像 $I(i,j)$ 分解为 I_r, I_g, I_b 三幅图像, 依次将其数据类型转换为 double 型.

Step2: 通过大量实验研究, 参数设为 $G = 192; O = -30; \alpha = 125; \beta = 46$ 时图像能显示出更好的图像效果.

Step3: 设定 C 为(15,80,250), 利用高斯函数计算出相应高斯模板.

Step4: 对 I_r, I_g, I_b 三幅图像分别做以下操作(以 I_r

为例):

1)将图像转换到对数域;可是在对数域中一些像素值有可能是 0, 会使对数结果没有意义, 所以在取对数时加上一个参数值 δ , 本文取 0.001 时效果最好.

2)对图像进行傅里叶变换, 转换到频域, 用三个高斯模板分别对图像做卷积, 得到低频图像 I1, I2, I3.

3)用原图像 I, 分别减去三个尺度的傅里叶变换后低频图像 I1, I2, I3, 便可得到三个高频增强的图像 I11, I12, I13.

4)利用公式(3)对 I11, I12, I13 加权平均, 其中 $W=(0.33, 0.34, 0.33)$. 得到 II.

5) 利用公式(4), 计算色彩因子 C, 计算 $R=C*II$.

6) 通过 gain/offset 对图像进一步调整, $R=G*R+O$.

7)对 R 线性拉伸: $(R-Min)*255/(Max-Min)$. 其中 Max, Min 为 $R(i,j)$ 中最大, 最小的灰度值.

Step5: 最后将得到的 R, G, B 图像(如图 8)合并即可得到图像 I 的增强图像(如图 9(e)).



图 8 R, G, B 图像

3 实验结果及讨论



(a) 原图 (b) 直方图均衡化 (c) Gamma 校正



(d)传统的 MSRCR (e)本文算法

图 9 几种算法处理后的对比图

为了客观评价本文算法与其他算法的处理效果, 分别计算图像的均值, 标准差和信息熵来衡量图像的亮度, 对比度和信息量. 结果如表 1 所示.

表 1 图像质量客观评价指标

图像处理	均值	标准差	信息熵
原图	104.3642	11.8522	11.8246
直方图均衡	129.8198	10.9716	12.9065
Gamma校正	151.0861	13.1490	13.3596
MSRCR	153.9577	11.0665	13.4989
本文算法	147.9040	14.1490	13.5823

其他算法分析: 从表 1 可以看到, 原图因在获取时, 光线不足, 图像亮度偏暗, 均值偏低. 通过直方图均衡化后的图像, 亮度值得到增加, 对比度反而下降了, 并且从图 3(b)可以看出, 图像出现明显的彩色失真; 通过改进的 Gamma 校正后(Gamma=3), 图像的亮度和对比度均有所提高; 通过传统的 MSRCR 算法处理的结果, 均值过高, 图像整体过亮, 对比度反而降低了.

本文算法分析: 从均值项可以看出, 本文算法能够较好地平衡图像的亮度, 其亮度适中. 从标准差项可以发现, 经过本文算法处理后对比度有一定增加, 且强于其他算法; 从信息熵项可以观察到, 处理后的图像信息熵相对于原图来说, 也有一定增加, 且优于其他算法;

对于时间复杂度, 通过计算本文算法和传统 MSRCR 的处理时间进行对比. 测试图像的分辨率分别为 240*320, 300*400 和 450*600, 在 Genuine Intel(R) cpu T2080@1.73GHZ, 内存为 1GB 的 PC 上, 结果如表 2 所示.

表 2 传统的 MSRCR 和本文算法处理时间对比(单位 s)

	240*320	300*400	450*600
传统的MSRCR	23.4838	26.1258	33.1500
本文算法	1.7157	2.0994	3.8066

4 结论

本文实验数据来自 caltech database 人脸库, 算法在 matlab R2007a 平台上编程实现, 部分实验图片见图 1. 实验表明, 采用本文的所设计的方法后, 不仅突出了原始图像暗区域的信息, 而且较好的恢复图像颜色. 同时实时性有了进一步提高, 更加符合分析人员的要求, 从而大大提高了人脸识别率.

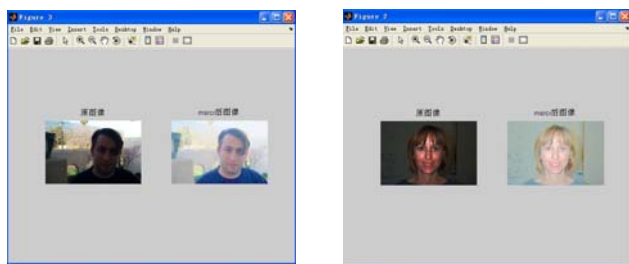


图 10 部分实验结果

参考文献

- 1 王进军,王汇源.解决人脸识别光照问题的预处理方法综述.电气电子教学学报,2008(12):44-46.
- 2 卢晓菁,陈锻生.一种人脸图像光照补偿的新方法.小型微型计算机系统,2008,(10):5-7.
- 3 Edwin H. The retinex theory of color vision. Scientific American,1977,237(6):108-129.
- 4 Jobson D, Rahman Z, Woodell GA. Properties and Performance of a Center/Surround Retinex. IEEE Trans. on Image Processing,1997,6(3):451-462.
- 5 Jobson D, Rahman Z, Woodell G A. A multi scale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes. IEEE Trans. on Image Processing, 1997,6(7):965-976.
- 6 Rahman Z, Jobson DJ, Woodell G A. Multi-scale Retinex for Color Image Enhancement. Proc. of International Conference on Image Processing. Lausanne, Switzerland, 1996. 1003-1006.
- 7 Land EH. An alternative technique for the computation of the designator in the retinex theory of color vision. Proc. of the National Academy of Science of the United States of America, 1986,83(10):3078-3080.
- 8 史延新.一种基于 Retinex 理论的图像增强算法.电子科技,2007,(12):32-35.
- 9 李冠章,鲁琴,罗武胜,李沛.彩色图像的亮度-色度非线性重组.计算机工程与应用,2010,46(25):178-180.

(上接第 194 页)

5 结语

本文针对基本遗传算法存在容易“早熟”，无法全局收敛的现象，设计一种新交叉算子和变异算子，丰富了种群的多样性，提高了算法的全局搜索能力。实例仿真表明，改进遗传算法在迭代陷入局部最优时，能通过本文设计的选择、交叉、变异等遗传操作，在较短的时间内跳出局部最优，继续寻找全局最优解。相比较于基本算法，改进算法在求解质量上有了很大提高。

参考文献

- 1 Holland JH. Adaptation in Natural and Artificial System. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
- 2 Goldberg DE. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Massachusetts: Addison-Wisley, Reading, 1989.
- 3 Michalewicz ZZ. Genetic Algorithms data Structures Evolution Programs. New York: Springer-Verlag, 1994.
- 4 袁晓辉,刘冠蓉.一种用于函数优化的改进混合遗传算法.武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2002,6:15-17.
- 5 朱凤龙,邓辉文.改进交叉算子和变异算子抑制 GA 算法早熟.科学技术与工程,2010,6(2):1540-1542.
- 6 曳永芳,杜永清,等.一种抑制早熟收敛的改进遗传算法.山西师范大学学报(自然科学版),2010,2:24-28.
- 7 林锐浩,陈晓龙.基于种群多样性指导的遗传算法.计算机工程与设计,2005,26(11):3100-3103.
- 8 巩固,郝国生,等.一种改进的抑制早熟收敛的遗传算法.计算机与数字工程,2009(5):6-10.
- 9 杨忠,鲍明,等.求解中国旅行商问题的新结果.数据采集与处理,1993,3:177-182.
- 10 胡大伟,刘贵英.基于空间填充曲线和 or-opt 搜索求解旅行商问题.长安大学学报(自然科学版),2007,3:85-88.