

基于 Retinex 的人脸光补偿算法研究

李孟歆¹ 李东昊¹ 张 锐¹ 宋晓丽²

¹(沈阳建筑大学信息与控制工程学院 沈阳 110168)

²(建设部沈阳煤气热力设计院 沈阳 110026)

摘 要 本文研究了基于图像处理技术的光照补偿方法, 针对直方图均衡化对, 图像背景太亮或太暗有很好的处理效果, 但对细节处理效果很差的问题结合 Retinex 对于恢复图像细节效果强的优点, 提出了基于小波变换的融合方法, 将图像分别由直方图均衡化处理 and Retinex 处理后的两幅图像进行融合, 并通过 Yale B 人脸库进行相应的实验。实验结果对比表明, 采用融合方法可以弱化光照对图像的影响, 同时对图像的细节处理效果明显, 增强了图像的特征信息, 提高了图像的清晰度。

关键词 光照补偿; 直方图; Retinex; 小波变换; 图像融合

A Research on Face Light Compensation Based on the Retinex Algorithm

LI Meng-xin¹ LI Dong-hao¹ ZHANG Rui¹ SONG Xiao-li²

¹(School of Information and Control Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

²(Shenyang Gas Thermal Design Institute of Ministry of Construction, Shenyang 110026, China)

Abstract Illumination processing method based on image processing technology is studied. Histogram equalization is effective for treating too bright or too dark background images but is very poor in detail treatment. Retinex is effective in restoring image details. Combining histogram equalization and Retinex, a fusion method is proposed based on wavelet transform. The corresponding experiments were conducted on Yale B face database. The comparison of the experiments showed that the fusion method can weaken the impact of the light on the image, properly preserve the details with better effect of processing, enhance the image feature information and improve the clarity of the image.

Keywords illumination compensation; histogram; Retinex; wavelet transform; image fusion

1 引 言

图像的采集条件, 尤其是光照条件, 包括光源方向、明暗、色彩等都会对图像产生很大的影响, 所以光照一直是影响图像质量的关键因素之一。因此, 有效克服光照影响始终是图像处理中不可缺少的环节, 也是计算机视觉中尚未有效解决的技术难点之一。

目前人脸识别广泛应用于各个领域, 如交通、数

码相机、机器人视觉等。但由于环境的变化尤其是光照的变化, 导致在某些环境下人脸识别率低、误差大。所以, 对于人脸图像的光照预处理对于提高图像的质量有着非常重大的意义。

解决不同光照条件下人脸识别问题的方法主要有以下两类: (1) 基于变换的方法, 在空间域或频域上进行线性或非线性变换(如直方图变换、小波变换、同态滤波等)达到消除光照影响的目的。基本思想是把人脸的不同光照图像看作基本信号, 只对该信号本身的信息进行处理; (2) 基于光照样本合成的方法,

基金项目: 国家自然科学基金资助(60874103)。

作者简介: 李孟歆, 博士后, 教授, 主要研究模式识别、图像处理、粗糙集、智能控制等方向; 李东昊, 硕士研究生, 主要研究模式识别等方向, E-mail: 475621222@qq.com; 张锐, 博士研究生, 讲师, 研究方向为图像处理、机器人技术; 宋晓丽, 研究方向为电气自动化、模式识别、智能控制等。

它们首先对待识别的人脸光照图像进行光照条件估计, 然后通过对标准光照环境的模拟, 将其归一化为标准光照环境下的人脸光照图像。其思想是待识别人脸图像添加光照处理, 通过对自然环境光照条件的模拟, 将其转化到标准光照条件下进行识别^[1]。

常用的图像增强方法有直方图均衡化、对数变换、指数变换、Retinex 等。

2 直方图均衡化

直方图均衡化通过使用累积函数对灰度值进行调整以实现对比度的增强。图像直方图的组成成分集中在灰度级低的一侧, 则图像偏暗; 当直方图组成成分集中在灰度级高的一侧, 则图像偏明亮。在高对比度的图像中, 直方图的成分覆盖了灰度级很宽的范围。

直方图均衡化的主要特点是对于背景和前景都太亮或者太暗的图像有效, 这种方法尤其是可以带来 X 光图像中更好的骨骼结构显示以及曝光过度或者曝光不足照片中更好的细节。主要的优势是它是一个相当直观的技术并且是可逆操作, 如果已知均衡化函数, 那么就可以恢复原始的直方图, 并且计算量也不大, 但对处理的数据不加选择, 会增加背景无用信号的对比度并且降低有用信号的对比度; 变换后图像的灰度级减少, 某些细节消失; 某些图像, 如直方图有高峰, 经处理后对比度不自然的过分增强^[2]。

如图 1 所示为 Yale 人脸库五种光照情况人脸图像经直方图均衡化处理后的效果图。由图可见, 在光照情况正常时, 直方图均衡化处理后, 图片对比度被过分增强, 图片变亮; 在光照情况恶劣时, 如第四、五图均衡化效果十分不理想, 背景噪声被增强, 图片的细节被忽略。与直方图均衡化相比较, Retinex 理论



图 1 Yale 人脸库

算法更强调对细节的恢复。

3 Retinex 算法

Retinex 理论又称为颜色恒常知觉的色彩理论, 是根据人眼对颜色具有恒常性, 常被用于遥感和医学、去除云雾干扰、去除图像不均匀领域。Retinex 理论认为: 一幅图像的颜色是由该图像中物体对反射光的能力决定的, 而不是由反射光强度决定的; 即物体本身决定的, 不受光照非均性的影响^[3]。Retinex 理论主要是用于补偿受光照影响严重的图像。该方法将一幅给定的图像分解成两幅不同的图像, 即入射分量图像和反射分量图像。理论模型为:

$$I(x, y) = R(x, y) \cdot L(x, y) \quad (1)$$

其中, I 表示反射光, 即被观察者或照相机接收到的我们看到的图像, L 表示入射光, R 表示物体的反射性质, 由物体的材料、形状、姿态等因素决定, 与光照无关。 L 直接决定了图像中像素所能达到的动态范围, R 决定了图像的内在性质光照预处理, 实质就是从图像中获得物体的反射性质 R 。进一步说, 就是抛开照射光 L 的影响来获得图像表面特性。

对上式两边取对数:

$$\begin{aligned} \ln I(x, y) &= \ln R(x, y) + \ln L(x, y), \\ r(x, y) &= \ln R(x, y), \\ \text{则 } i(x, y) &= \ln I(x, y) = \ln[L(x, y) * R(x, y)] \\ &= \ln L(x, y) + \ln R(x, y) = l(x, y) + r(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

将乘法运算变为简单的加法运算, 将图像变换到对数域更符合人眼视觉特性^[4]。

Retinex 理论的光照补偿算法描述如下: 先在对数域中将原始图像分解成入射分量(对应于图像的低频部分), 和反射分量(对应于图像的高频部分), 接着通过对原图像进行高斯平滑来对入射分量做出预测, 然后用原始图像减去入射分量得到反射分量, 最后对结果图像取反对数就得到了增强后的图像。

随后发展了多种算法: 单尺度的 Retinex (SSR), 多尺度 Retinex 算法 (MSR), 带色彩恢复的多尺度算法 (MSMCR)。

带色彩恢复的多尺度算法 (MSRCR) 在多尺度 Retinex 的基础上考虑色彩的因素, 引入了一个色彩恢复因子 C ^[5]。其表达式为:

$$\begin{cases} R_{MSRCR_i}(x, y) = C_i(x, y) R_{MSR_i}(x, y) \\ C_i(x, y) = \beta \log[\alpha \hat{I}_i(x, y)] \\ \hat{I}_i(x, y) = I_i(x, y) / \sum_1^3 I_i(x, y) \end{cases} \quad (3)$$

其中： C_i 表示第*i*(R, G, B)个通道的色彩恢复系数，有决定性的作用， β 是增益常数， α 受控制的非线性强度。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 $O(n*\lg n)$ ^[6]。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。

Retinex在细节丰富程度、对比度、图像整体亮度以及色彩复原方面都能够达到适度平衡，图像的整体可视效果也整体提高，图像锐化增强以及亮度对比度增强，动态压缩范围大，较好地复原图像中物体本来的颜色，有效地改善图像对比度、清晰度。Retinex依然存在泛白，局部对比度减弱等不足，针对这些特点可以采用图像融合的方法，使图像处理有更好的效果。

4 图像融合

图像融合是通过一定的算法将两个以上的图像数据结合在一起生成一个新的图像。新的图像能够兼取多个原始图像的信息优势，具有描述所研究对象的较优化的信息特征。融合的目的是提高图像的信息可用程度，同时增加对研究对象解释(辨识)的可靠性。

图像融合按融合的阶段不同，可分为像元级(Pixel Level)、特征级(Feature Level)和决策级(Decision Level)三个层次^[7]。

在图像融合中小波变为主流技术，基于小波变换的融合具有良好的时域和频域局部性及多分辨率性。

4.1 小波变换图像融合方法

基于小波变换的图像融合是先对图像进行小波分解，在小波域按照一定融合规则在各分解层对高低频系数进行融合处理，对融合后的高低频系数进行小波重构，所得到的重构图像即为融合图像。

小波变换是图像的多尺度、多分辨率分解，它可以聚焦到图像的任意细节，具有完善的重构能力，保证信号在分解过程中没有信息损失和冗余信息。小波分析提供了与人类视觉系统方向相吻合的选择性图像，并把图像分解成平均图像和细节图像的组合，分别代表了图像的不同结构，因此容易提取原始图像的结构信息和细节信息^[8]。

4.2 图像融合的主要步骤

以两幅图像的融合为例，如图2：设*A, B*为两幅原始图像，*F*为融合后的图像。若对二维图像进行*N*层的小波分解，最终将有 $(3N+1)$ 个不同频带，其中包含 $3N$ 个高频子图像和1个低频子图像^[9]。其融合处理的基本步骤如下：

(1)对每一原图像分别进行小波变换，建立图像的小波塔型分解；

(2)对各分解层分别进行融合处理。各分解层上的不同频率分量可采用不同的融合算子进行融合处理，最终得到融合后的小波金字塔；

(3)对融合后所得小波金字塔进行小波重构，所得到的重构图像即为融合图像。

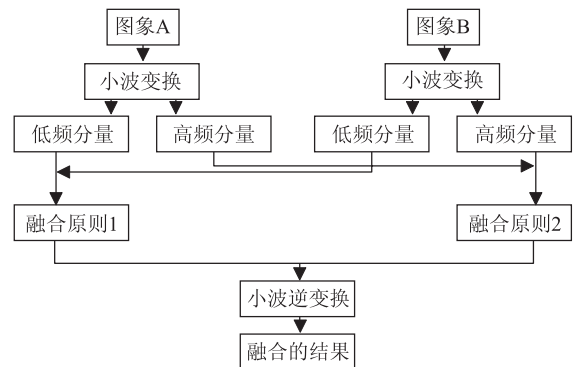


图2 小波变换融合框图

4.3 图像分解

Mallat将计算机视觉领域的尺度分析思想引入小波分析，提出了快速算法^[10]。若设*H*(低通)和*G*(高通)为两个一维镜像算子，则按照Mallat分解公式：

$$\begin{cases} C_j = H_c H_r C_{j-1} \\ D_j^1 = G_c H_r C_{j-1} \\ D_j^2 = H_c G_c C_{j-1} \\ D_j^3 = G_c G_r C_{j-1} \end{cases} \quad (4)$$

式中： C_j, D_j^1, D_j^2, D_j^3 分别对应于图像的低频成分、垂直方向上的高频成分、水平方向上的高频成分、对角方向上的高频成分，*r*和*c*分别对应于图像的行和列。

4.4 低频分量的融合准则

小波系数的低频分量，包含了信号的主要轮廓信息，它相当于在一定尺度下对原始信号的近似，这部分分量包含了信号的大部分信息。考虑到人眼视觉系统的特性，此部分的融合准则借助了均匀度测度的概念^[11]。在分析视觉系统对比度特性的基础上，提出了一种有效的衡量图像块均匀度的测度。其定义如下：对于图像*f*(*x, y*)中大小为 $N \times N$ 的块 F_k ，其均匀度*J*定义为：

$$J(F_k) = \frac{1}{N \times N} \sum_{(x,y) \in F_k} w(m_k) \times \frac{|f(x,y) - m_k|}{m_k} \quad (5)$$

式中, m_k 为 F_k 的均匀值, $w(m_k)$ 为根据块平均亮度调整的加权因子, 可以由下式确定:

$$w(m_k) = \left(\frac{1}{m_k} \right)^\alpha \quad (6)$$

计算了均匀度后, 再根据它的值大小进行融合。设两幅图像 A 和 B , 分别计算每个图像各个块的均匀度测度 $J(A_i)$ 和 $J(B_i)$ 。比较两幅图像对应块的均匀度测度, 得出融合图像的第 i 个块 F_i , 融合准则如下式:

$$F_i = \begin{cases} A_i, & J(A_i) \geq J(B_i) + T_h \\ B_i, & J(A_i) \leq J(B_i) - T_h \\ (A_i + B_i) / 2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

式中 T_h 是个经验因子。

4.5 高频分量的融合准则

小波系数的高频分量包含了图像的细节部分, 根据它的特点我们采用了与低频分量不同的融合准则。考虑到小波系数变化较大的值, 往往表征了图像的细节。因而根据各个小波系数的梯度进行融合。设 $[A^{LH} A^{HL} A^{HH}]$ 为原图 A 的 LH 、 HL 、 HH 三个小波系数子矩阵, $[B^{LH} B^{HL} B^{HH}]$ 为原图 B 的 LH 、 HL 、 HH 三个小波系数子矩阵, $[F^{LH} F^{HL} F^{HH}]$ 为融合后的 LH 、 HL 、

HH 三个小波系数子矩阵, $Grad$ 代表梯度幅度, 此处选择 Roberts 算子^[12]。

融合准则为:

$$F^{LH} = \begin{cases} A^{LH}, & \text{if } Grad^{LH}(A) > Grad^{LH}(B) \\ B^{LH}, & \text{else } Grad^{LH}(A) < Grad^{LH}(B) \end{cases} \quad (8)$$

$$F^{HL} = \begin{cases} A^{HL}, & \text{if } Grad^{HL}(A) > Grad^{HL}(B) \\ B^{HL}, & \text{else } Grad^{HL}(A) < Grad^{HL}(B) \end{cases} \quad (9)$$

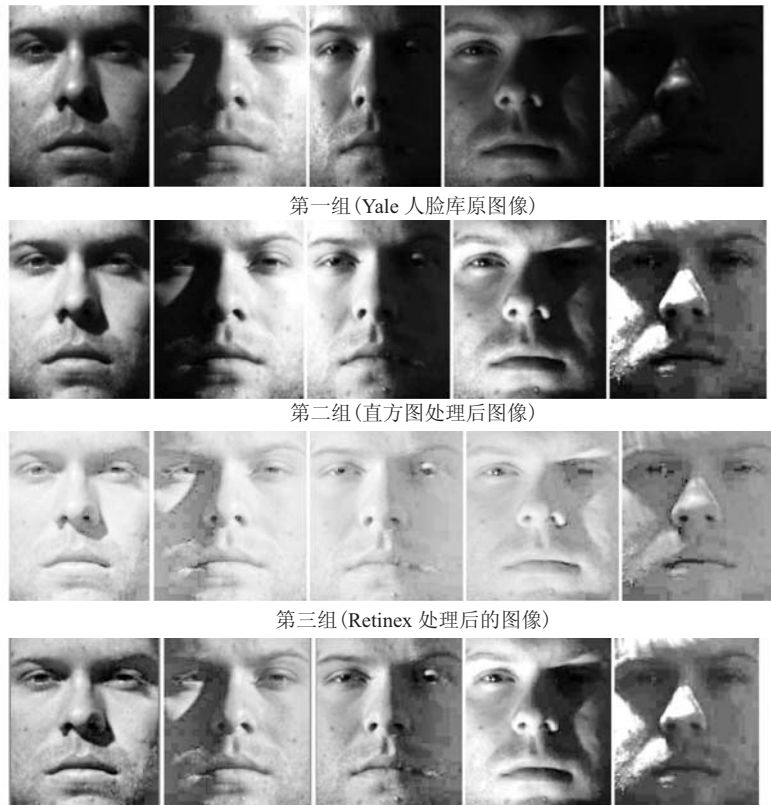
$$F^{HH} = \begin{cases} A^{HH}, & \text{if } Grad^{HH}(A) > Grad^{HH}(B) \\ B^{HH}, & \text{else } Grad^{HH}(A) < Grad^{HH}(B) \end{cases} \quad (10)$$

最后将得到的高频和低频子图像进行小波反变换, 重构融合图像。

本文采用直方图均衡化和 Retinex 算法分别对图像进行处理, 处理后采用小波变换的方法分别对两幅处理后的图像进行小波分解, 分解后利用低频分量融合准则和高频分量融合准则实现低频和高频分别融合, 然后利用小波重构将图像还原, 从而实现了图像融合。

5 仿真实验及结果分析

Yale B 人脸数据库由耶鲁大学计算视觉与控制中心创建, 具有多姿态, 多光照的图像。本文从 Yale B



第四组 (基于小波融合变换后的图像)

图3 Yale 人脸库及处理后图像

人脸数据库中选取五幅图像,通过 MATLAB 进行仿真实验。图 3 第一组为原图像,这五幅图像光照强弱不同,光照的角度不同。第二组为用直方图均衡处理的图像,第三组为 Retinex 方法处理,第四组为基于小波融合方法的处理的图像。

第一组原图像中的第一幅图像受光照影响微弱,三种方法效果都不明显;第二、三幅图像是受侧光照影响,一半的五官模糊或不可见,尤其是眼睛的部分;第四幅图像是整体光照较暗,五官都比较模糊;第五幅图像光照强度非常差,五官均不可见。

通过对比处理结果得出,第二组经过直方图均衡化的处理结果图像更均匀,部分五官清晰度加强,对比度过大,使图像变亮;第三组图像经过 Retinex 处理后五官基本清晰可见,但图像泛白问题严重,使图像中特征信息减少。第四组经过小波融合以上两种方法的处理下图像清晰度高,特性明显。

6 结 论

本文将直方图均衡化与 Retinex 算法结合,提出了基于小波变换的图像融合方法,按光照对图片的影响程度,从 Yale 人脸数据库中选取了五幅图像,用于检验光照补偿效果,从预处理的结果看,基于 Retinex 的人脸图像光补偿研究算法,一方面消除了单纯的直方图均衡化处理引起的对比度过分增强,减少了单纯使用 Retinex 算法引起的光晕现象和泛白现象;另一方面,改善了单纯直方图均衡化处理时局部

过亮或过暗和图像细节的丢失。

参 考 文 献

- [1] Hau D L. Mathematical Techniques in Multi-sensor Data Fusion [M]. Boston: Anech House, 1992.
- [2] 刘贵喜, 杨万海. 基于小波分解的图像融合方法及性能评价 [J]. 自动化学报, 2002, (6): 927-934.
- [3] 吕晓琪, 张宝华. 符合人眼视觉特性的医学图像融合算法 [J]. 计算机应用研究, 2006, 23(3): 153-157.
- [4] Chellappa R, Wilson C L, Sirohey S. Human and machine recognition of faces: a survey [J]. Proceedings of the IEEE, 1995, 83(5): 705-740.
- [5] 陈爱军, 王述洋. 基于人脸信息的信息安全技术研究现状及应用前景展望 [J]. 林业劳动安全, 2000, 15(2): 29-33.
- [6] Groemer H. Geometric Applications of Fourier Series and Spherical Harmonics [M]. Cambridge University Press, 1996.
- [7] 陈丹, 王国胤, 龚勋, 等. 一种适用于人脸检测的自适应光照补偿方法 [J]. 计算机工程与应用, 2012, 22: 175-178.
- [8] 任斌. 基于 Retinex 图像增强算法研究与实现 [D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [9] 刘茜, 卢心红, 李向霖. 基于多尺度 Retinex 的自适应图像增强方法 [J]. 计算机应用, 2009, 29(8): 2077-2079.
- [10] 冈萨雷斯. 数字图像 (MATLAB 版) [M]. 阮秋琦译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [11] Hsu R L, Abdel-Mottaleb M, Jain A K. Face detection in color images [J]. IEEE Transaction on PAMI, 2002, 24(5): 696-706.
- [12] 金小贤, 李卫军, 陈旭, 等. 一种基于视觉特性的仿生图像增强算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(3): 534-537.