

文章编号:1001-5132 (2007) 04-0434-04

基于小波的光照补偿及其在人脸识别中的应用

王蔚^{1,2}, 王万良¹, 宋加涛²

(1.浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310014; 2.宁波工程学院 电子与信息工程学院, 浙江 宁波 315016)

摘要: 提出了一种基于小波分析的人脸图像光照补偿技术, 通过舍弃图像中的低频分量, 仅用高频分量进行图像重构, 便可较好地消除原始人脸图像中光照的影响. 并将该技术应用于特征脸法人脸识别, 在 Yale 库和自建库图像中, 实验测得在较大尺度的情况下, 图像识别率都有明显提高.

关键词: 人脸识别; 特征脸方法; 光照补偿; 小波分析

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A

特征脸方法是当前人脸识别领域中一种常用的方法^[1,2], 它具有实现简单、速度快、识别效果好的优点, 但其性能易受光照的影响. 近年来, 很多学者对如何提高该方法的光照鲁棒性进行了大量的研究, 比如Belhumeur等人^[3]建议从其变换核矩阵中去掉前面 3 个特征矢量以减少光照的影响; 而Shakunaga等人^[4]则对该方法进行了扩展, 将 1 张特征脸分解成相互正交的 2 张特征脸, 获得了较好的光照鲁棒性. 本文采用基于小波变换的人脸图像光照补偿方法, 通过在预处理阶段先对人脸图像先进行光照校正, 然后用特征脸方法进行识别, 经Yale人脸库^[5]和自建人脸图像库实验, 发现经光照补偿后, 特征脸方法的人脸识别率有明显提高.

1 基于小波分析的图像光照补偿

1.1 光照补偿及其常用方法

光照补偿技术可以改善图像中光照的非均匀

性, 从而提高图像分析系统的性能. 目前, 用于光照补偿的常用软件方法包括直方图均衡化、非线性变换和同态滤波方法等. 直方图均衡化有利于图像对比度的提高, 但它可能导致原始图像中一些细节信息的丢失; 非线性变换方法也可能导致压缩灰度区域内图像细节信息的丢失; 同态滤波方法中滤波器参数的选择目前尚无较好的理论进行指导. 文献[6]提出了一种有利于人脸检测的光照补偿方法, 但该方法不适合于人脸识别.

1.2 光照变化对图像频谱的影响分析

光照变化所引起图像的改变主要是其亮度和对比度的变化. 为了深入研究光照变化对图像特性的影响, 我们从 Yale 库中任选 1 幅图像作为初始图像, 在以下 2 种情况下分别考察图像频谱的变化: (1)在保持对比度不变的情况下, 增加和降低图像的亮度; (2)保持亮度不变, 单独增加和降低图像的对比度.

图 1 中第 1 行从左向右分别显示了初始图像、

收稿日期: 2007-04-23.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目: 浙江省自然科学基金(Y105239, 602118); 宁波市自然科学基金(2006A610015).

作者简介: 王蔚(1971-), 女, 浙江宁海人, 高级实验师, 主要研究方向: 图像处理和电子技术应用. E-mail: sjt6612@163.com

单独增加和减少亮度后的图像,以及单独增加和减少对比度后的图像;第 2 行为第 1 行同列图像用离散傅立叶变换(FFT)得到的频谱图;第 3 行为因光照变化所引起的相对于初始图像而发生的频谱变化.图 1 第 2 行和第 3 行中的黑色像素对应低数值(最小为 0),白色像素对应高数值(最大为 255),并且直流分量已移到图的中央.从图 1 中可以看出:(1)单独改变图像亮度,主要引起其低频分量的改变;(2)单独改变其对比度,不仅低频分量改变,高频分量也发生较大变化;(3)无论单独改变亮度还是对比度,低频分量的改变都大于高频分量的改变;由此说明,当光照引起图像灰度改变时,受影响的主要是图像的低频分量.因此,若适当减少图像中的低频分量,则有望减少光照对图像的影响.

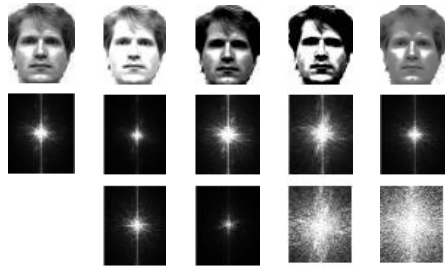


图 1 图像亮度及对比度变化对其频谱的影响

1.3 小波变换及其光照补偿作用

小波变换是目前常用的信号分析工具,可对整个信号进行不同局部区域由粗到细的观察.对于图像信号,二维小波分解相当于借助滤波器组,将尺度 j 下的低频信息分解成 4 部分,即尺度 $j+1$ 下的低频分量和水平、垂直、斜线 3 个不同方向的高频分量,经过 N 次分解,图像的分解结构 C 可表示成:

$$C = [A(N) + H(N) + V(N) + D(N) + H(N-1) + V(N-1) + D(N-1) + \dots + H(1) + V(1) + D(1)],$$

其中,向量 $A(N)$ 为尺度 N 时的低频分量, $H(N)$, $V(N)$ 和 $D(N)$ 则分别为尺度 N 时的水平、垂直和斜向高频分量.

由于图像中的高频分量代表了诸如纹理及边缘等细节信息,而对于人脸图像而言,这些高频分量则主要反映了眼、鼻、唇和嘴巴等部件的位置、

形状信息以及脸部皱纹、皮肤颜色的突变等信息.因此,在进行小波分解后,若舍弃受光照影响严重的低频分量,仅用高频分量进行图像重构,便可以得到这样的图像:它既包含了大部分对人脸区分至关重要的信息,同时又大大摆脱了光照的影响.

图 2 为 Yale 库中 1 幅如图 3(a)列第 2 行所示的受右侧光照射的情况下,且图像在尺度 1~8 时,用上述方法得到的归一化小波高频重构图像(大小归一化为 60×60 ,灰度归一化到均值为 0、方差为 1).从图 2 也同样可看出,在小尺度下,由于舍弃的低频分量太多,高频重构图像丢失的信息太多,以至于其中脸部轮廓信息难以分辨清楚;但随着尺度的增大和低频分量的增加,重构图像中人脸逐渐变得清晰,特别是在尺度 5~7 下,尽管和初始图像相比,图像的对对比度有所下降,但脸部轮廓和五官部件清晰可见,而且整个图像灰度分布较为均匀,基本消除了“右亮左暗”的现象;当尺度增加到 8 时,伴随低频分量的进一步增加,高频重构图像中光照的影响又显露出来了.

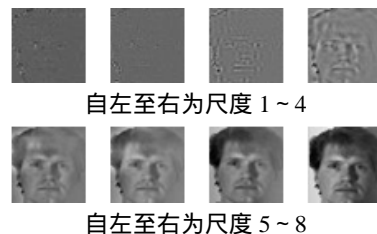
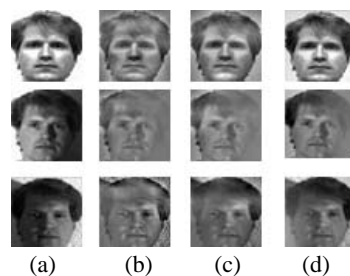


图 2 右侧光图像在尺度 1~8 下的高频重构图像

图 3 中(a)列从上至下分别为在普通光、右侧光和左侧光 3 种不同的光照条件下的图像(称为初始图像), (b)、(c)和(d) 3 列分别为在尺度 5、6 和 7 时的高频重构图像.图 3 说明,选择恰当的尺度(如尺



(a) 初始图像; (b) 尺度 5; (c) 尺度 6; (d) 尺度 7

图 3 不同光照条件下的高频重构图像

度 6)进行图像小波高频重构,既可以保持人脸的基本信息,同时又可以使光照的影响大大减弱.

2 特征脸法人脸识别实验

2.1 人脸数据库及实验方法

为考察上述光照补偿方法对特征脸法人脸识别性能的影响,我们选用Yale库和自建人脸库进行人脸识别实验. Yale库^[5]包含 15 个人共计 165 幅人脸正面图像,每人包含正光、右侧光、左侧光、普通光、戴眼镜、不戴眼镜、喜悦、忧愁、困倦、惊奇和眨眼睛等不同光照、表情或配置的 11 幅图像. 自建库中包含 11 人的共计 279 幅图像,所有图像分 2 次(相隔 15 d)从同一场景取得. 和Yale库图像受到严格的拍摄控制条件不同,自建库包含较为随意的表情和姿势变化,且光照从头顶右方往下照射,多数人脸图像含有阴影,该库可视为从特定监控现场所采集图像的典型采样.

实验时首先对人脸库图像进行小波高频重构,所用的小波函数为具有线性相位和反对称双正交性质的 bior 系列. 实验时选用一部分图像作为训练样本,同尺度的其余图像作为测试样本. 实验主要在大尺度下进行,系统用 VC 6.0 实现.

2.2 实验结果及分析

对 Yale 人脸库,取每个人的普通光图像(共计 15 幅)作为训练样本,其余 150 幅图像分为不同测试集分别进行实验,所得结果见表 1. 第 1 组测试样本为 15 幅正光图像,初始图像的识别率达 100%. 由于此时测试图像中光照分布非常均匀,因此光照补偿不起任何作用,此时高频重构图像的识别率随

尺度的变化,完全是由特征脸方法本身的特点决定的. 该方法使用的是从低频到高频的所有图像信息,因此在尺度小时,由于丢失了较多的低频信息,重构图像中能用于人脸区分的特征信息就减少了,所以识别率较低,但随着尺度的加大,低频信息随之增加,识别率也就相应提高,而在尺度 6 以后便恢复到了初始图像的 100%. 第 2 组测试样本中只包含左侧光和右侧光的 30 幅图像,此时的光照补偿起到显著作用. 特别在尺度 5 以后,由于重构图像包含了足够多的低频信息,同时光照不均匀性又得到很好的校正. 因此,高频重构图像的识别率比初始图像要高出 10%以上,特别是在尺度 6 时,获得了最高识别率;而当尺度继续增加,如尺度 7 和 8 时,一方面低频信息的增加有使特征脸方法识别率提高的趋势,而另一方面随尺度的增加,光照补偿作用随之减弱,因而有使识别率下降的可能,这 2 种因素共同作用,使得识别率相对于尺度 6 略有降低. 第 3 组和第 4 组测试样本实验得到相似的结果.

对自建人脸库而言,实验中采用 3 种训练样本集: Train1、Train2 和 Train1+Train2,其中 Train1 包含每人 1 幅中性表情的正面图像,Train2 包含每人 1 幅“开口笑”的正面图像,而第 3 组训练样本集包含 Train1 和 Train2 中的所有图像,所用的测试集包括 245 幅图像. 用自建人脸库进行实验所得的数据见表 2. 表 2 说明:对于不同的训练样本集,由于小波高频重构图像相对于原始图像进行了较好的光照补偿,测试图像集在尺度 4 以后的识别率都有明显提高,特别是在尺度 6 时,就取得最佳识别率,并且随训练样本数的增加,系统的识别率也

表 1 Yale 库图像的识别率

测试样本选取	图像数目/个	初始图像/%	高频重构图像/%					
			尺度 3	尺度 4	尺度 5	尺度 6	尺度 7	尺度 8
正光图像	15	100.00	40.00	73.33	93.33	100.00	100.00	100.00
左侧光和右侧光图像	30	66.67	20.00	53.33	76.67	80.00	73.33	76.67
除正光和左、右侧光外的图像	105	95.24	61.90	79.05	89.17	93.33	90.48	89.52
全部测试图像	150	90.00	51.33	73.33	87.33	91.33	88.00	88.00

有所提高.

表2 自建人脸库图像的识别率 %

训练样本 选取	初始 图像	高频重构图像				
		尺度3	尺度4	尺度5	尺度6	尺度7
Train1	85.71	80.82	89.80	91.84	93.47	86.12
Train2	83.27	80.41	85.71	85.71	86.53	82.04
Train1 + Train2	93.47	91.02	93.47	95.10	95.51	93.47

3 结束语

特征脸方法是目前较为行之有效的人脸识别方法之一,然而如何提高其光照鲁棒性是目前尚待解决的重要课题之一.本文提出了一种基于小波多分辨率分析的光照补偿方法,通过舍弃人脸图像中受光照影响严重的低频分量,只用高频分量进行图像重构,可在较大尺度下得到灰度分布较为均匀的图像.将用该方法进行光照补偿后的图像应用于特征脸法人脸识别,识别率有了明显提高.

参考文献:

- [1] Tan Xiaoyang, Chen Songcan, Zhou Zhihua, et al. Face recognition from a single image per person: a survey[J]. Pattern Recognition, 2006, 39:1 725-1 745.
- [2] Turk M, Pentland A. Eigenfaces for recognition[J]. Journal of Cognitive Neuroscience, 1991, 3(1):71-86.
- [3] Belhumeur P N, Hespanha J P, Kriegman D J. Eigenfaces vs fisherfaces: recognition using class specific linear projection[J]. IEEE Trans on PAMI, 1997, 19(7):711-720.
- [4] Shakunaga T, Shigenari K. Decomposed eigenface for face recognition under various lighting conditions[C]// Proceedings of 2001 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. USA, Hawaii: IEEE computer society, 2001: 864-871.
- [5] Yale Dot Education. Yale University Face Database[DB/OL]. [1997-09-10]. <http://cvc.yale.edu/projects/yalefaces/yalefaces.html>.
- [6] Liu Hong, Gao Wen, Miao Jun, et al. Illumination compensation and feedback of illumination feature in face detection[C]//Proceedings of IEEE conference on info-tech and info-net. Beijing: IEEE Press, 2001:444- 449.

Wavelet-based Illumination Compensation and Application to Face Recognition Using Eigenface Method

WANG Wei^{1,2}, WANG Wan-liang¹, SONG Jia-tao²

(1.College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2.College of Electronic and Information Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo 315016, China)

Abstract: Engineered for human face recognition and based on Wavelet transform, a novel algorithm for the illumination compensation is proposed. By removing the low frequency components in the face image and reconstructing the image using only the high frequency components, the undesired effects of lightings on face image recognition can be greatly reduced. Experiments are carried out using the Yale face database and our own face database, and the testing results show that, for the lighting-compensated images, the recognition rate using the Eigenface method is increased significantly.

Key words: face recognition; eigenface method; illumination compensation; wavelet analysis

CLC number: TP391.4

Document code: A

(责任编辑 章践立)