

改进的 2DPCA 人脸识别算法^①

伍行素, 余为益

(上饶师范学院 数学与计算机科学学院, 上饶 334001)

摘要: 在对 2DPCA 人脸识别方法研究的基础上, 提出一种改进的 2DPCA 人脸识别算法, 该算法对训练集进行两次 2DPCA 特征提取, 以此重建散布矩阵, 从而大大降低特征矩阵的存储空间。并在标准 Yale 与 ORL 人脸识别数据库上进行对比实验, 改进的 2DPCA 人脸算法能有效改善识别性能, 优于传统的 2DPCA 方法。最后, 再通过和 PCA, LDA, LPP 等其他非 2DPCA 经典算法进行对比仿真实验, 验证了本文算法的高有效性。

关键词: 人脸识别; 二维主元分析; 特征提取

Improved 2DPCA Method for Face Recognition

WU Xing-Su, YU Wei-Yi

(School of Mathematics and Computer Science, Shangrao Normal University, Shangrao 334001, China)

Abstract: After detail analysis the traditional algorithm of 2DPCA, an improved recognition algorithm whose feature extraction applied twice is presented, it can reduce dimensionality. Extensive experiments are performed on the ORL and Yale face databases. The result shows that the improved algorithm has higher feature speed and recognition accuracy than traditional 2DPCA. Finally, compared with PCA, LDA, LPP, etc., the proposed algorithm is superior to other algorithms in recognition rate.

Keywords: face recognition; two-dimensional principal component analysis(2DPCA); feature extractio

1 引言

人脸识别是模式识别和图像处理等学科的一个研究热点, 具有广泛的应用前景, 并且产生了许多较好的算法^[1-7]。

主元分析 (Principle Component Analysis) 方法是应用广泛的一种特征提取方法, 也称一维 PCA 方法。此方法把一张 $N \times N$ 的二维图像可以看成是一个长度为 N^2 的一维向量, 如一张人脸图像分辨率为 100×100 经转换后人脸图像向量高达 10000, 这样会耗费大量的计算时间。基于图像矩阵的二维主元分析 (Two-dimensional Principal Component Analysis, 2DPCA) 法^[8-9], 是以 PCA 算法为基础, 直接利用一维人脸图像矩阵求协方差矩阵, 无须将人脸图像矩阵转换成向量, 从而加快了特征提取速度, 但是经过 2DPCA 特征提取出的特征矩阵还是占用很大的存储空间, 同时也影响了分类速度。本文在结合 2DPCA

的人脸识别的算法的基础上, 提出了一种快速降维的 2DPCA 改进算法。

2 2DPCA 方法介绍

2DPCA 等价于基于行的 PCA。因此, 2DPCA 仅在行方向上对原图像进行了压缩, 其具体过程如下:

设 X 表示 n 维列向量, A 为 $m \times n$ 的图像矩阵, 可通过以下变换将图像矩阵 A 投影到投影轴 X 上^[10]。

$$Y = AX \quad (1)$$

这样, 得到一个 m 维列向量 Y , 称为图像 A 的投影特征向量。

如果有 M 个训练图像样本, 第 i 个样本图像可表示为 $m \times n$ 的矩阵 A_i ($i=1, 2, \dots, M$)。则训练样本的平均

图像 \bar{A} ($\bar{A} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M A_i$), 图像协方差 (散布) 矩阵

① 收稿时间:2011-01-31;收到修改稿时间:2011-03-05

G_t 可用下式计算:

$$G_t = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (A_i - \bar{A})^T (A_i - \bar{A}) \quad (2)$$

容易证明 G_t 为一个 $m \times n$ (n 是图像的列的像素值) 的非负定矩阵。然后取 G_t 的 d 个最大特征值所对应的标准化正交化特征向量 X_1, X_2, \dots, X_d , 令 $Q = [X_1, X_2, \dots, X_d]$, 称 Q 为最优投影矩阵。

对于一个给定的图像样本 A , 令 $Y_k = AX_k$, $K=1, 2, \dots, d$ 。能得到一组投影特征向量 Y_1, Y_2, \dots, Y_d , 称为图像 A 的主元向量。2DPCA 算法选取一定数量 d 的主元向量可以组成一个 $m \times d$ 阶矩阵 $B = [Y_1, \dots, Y_d] = A[X_1, X_2, \dots, X_d]$, 称为图像 A 的特征矩阵或特征图像, 在人脸识别中称为“特征脸”。图 1 为在 ORL 人脸库实验中所提取的某 10 个“特征脸”, 如图 1 所示; 以及它们的平均图像, 即“平均脸”, 如图 2 所示。

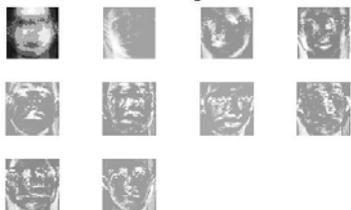


图 1 特征脸



图 2 平均脸

3 2DPCA改进算法

3.1 算法思想

经过 2DPCA 提取特征的 $m \times d$ 阶矩阵 B 是一个维数很高的向量 (m 较大), 这样的特征矩阵占用很大的存储空间, 同时也影响了分类速度。

本文改进的 2DPCA 算法的基本思想是经过 2DPCA 提取出的特征矩阵, 先不直接进行分类识别, 而是将特征矩阵进行转置后作为训练矩阵, 将其再进行第二次特征提取, 经过两次图像的投影后, 特征矩阵的维数可大大降低, 自然减少了占用存储空间并提高了分类速度。

改进算法具体算法过程是: 经过 2DPCA 第一次特征提取, 得到第一次最优投影矩阵 $Q = [X_1, X_2, \dots, X_d]$

及训练样本的特征矩阵 $B_i (i=1, 2, \dots, M)$, 其中 M 为训练样本总数, 然后将特征矩阵 B_i 转置后的矩阵 B_i^T 作为训练矩阵继续进行第二次特征提取。这样将 B_i^T 代入式 (1), 有如下新的散布矩阵 G'_i :

$$G'_i = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (B_i - \bar{B}) (B_i - \bar{B})^T \quad (3)$$

其中, $\bar{B} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M B_i^T$ 为第一次压缩后训练样本的总体均值矩阵。

同样, 可通过 G'_i 的 s 个最大特征值所对应的标准正交的特征向量 Z_1, Z_2, \dots, Z_s 作为第二次最优投影矩阵 $V (V = [Z_1, Z_2, \dots, Z_s])$ 。

因此, 任一样本 A 经过两次 2DPCA 提取的特征矩阵 U 可表示为:

$$U = B^T [Z_1, Z_2, \dots, Z_s] = Q^T A^T V = [X_1, X_2, \dots, X_d]^T A^T [Z_1, Z_2, \dots, Z_s] \quad (4)$$

3.2 算法分析

注意到, 第一次提取的特征矩阵 B_i 是 $m \times d$ 维, 而经过两次 2DPCA 提取的特征矩阵 U 是 $d \times s$ 维的, 实际中可取 s 远小于 m , 从而可降低提取特征的维数, 使分类速度加快, 人脸识别率得到提高。

综上所述, 改进的 2DPCA 方法中, 得到的两个最优投影矩阵 Q 和 V 在理论上具有相关性, 因此能对图像进行更好地压缩, 识别率不会下降, 与 2DPCA 相比, 既节省了存储空间, 又减少了特征提取的时间。

4 实验仿真及分析

实验环境条件为: AMD Athlon X2 CPU 2.80GHZ, 2GB 内存的硬件环境和 Matlab7.0 的软件环境。

4.1 图像特征脸与识别实验

在这一实验中, 将使用 Yale 人脸数据库, Yale 人脸图像由耶鲁大学计算视觉与控制中心创建, Yale 数据库里有 15 位志愿者共 165 张人脸图像, 每个人有 11 幅图像。这些图像包含光照与姿态的变化, 人物面部表情、面部细节也各不相同, 充分反映了一个人的不同人脸图像的差异和细微变化。人脸图像经过大小归一化与图像二值化处理, 大小为 100×100 像素, 最大灰度为 255。

实验中随机选取 6 人, 取每个人前 5 幅作为训练集, 后 6 幅作为测试集。

部分识别结果如下图 3，上排为测试样本，下排为训练样本。



图 3 识别结果图

从上图中可以看出，使用本文算法，识别效果能令人满意，能较好地得到人脸识别效果。

4.2 图像识别率与识别时间对比实验

4.2.1 基于 Yale 人脸数据库对比试验

本实验在 Yale 人脸数据库上 15 人中选取每个人前 5 幅作为训练集，后 6 幅作为测试集。图像分辨率是 100×100 。由 3.2 节分析可知，设第一次提取的特征矩阵 $B_i(i=1,2,\dots,M)$ 是 $m \times d$ 维，而经过两次 2DPCA 提取的特征矩阵 U 是 $s \times d$ 维的， s 一般大大小于 m ，每次实验做 10 次，取最后的平均值。实验结果如表 1，表 2 所示。

表 1 Yale 库中不同维数下 2DPCA 与本文算法平均识别率比较 (单位: %)

2DPCA ($m \times d$)	85.5 (100×6)	86.2 (100×7)	85.7 (100×8)	84.8 (100×9)	85.3 (100×10)
本文算法 ($s \times d$)	84.8 (10×6)	85.4 (10×7)	86.1 (10×8)	85.2 (10×9)	85.7 (10×10)

从表 1 中可以看出，两种算法识别率大体上相差不多，但改进后的 2DPCA 算法的特征矩阵的维数大幅减少，如 2DPCA 需要 $900(100 \times 9)$ ，而本文算法只需要 $90(10 \times 9)$ ，同样都达到了约 85% 的平均识别率。

我们再从算法时间复杂度的角度，来比较两种算法所需要的平均识别时间，结果见表 2。

表 2 Yale 库不同维数下 2DPCA 与本文算法平均识别时间比较 (单位: 秒)

2DPCA ($m \times d$)	0.7263 (100×6)	0.9631 (100×7)	1.1258 (100×8)	1.3478 (100×9)	1.4437 (100×10)
本文算法 ($s \times d$)	0.3137 (10×6)	0.3329 (10×7)	0.3614 (10×8)	0.3893 (10×9)	0.4245 (10×10)

从表 2 中可以看出，在特征值 d 值相同的情况下，相对于 2DPCA 算法，改进后的 2DPCA 需要较少的平均识别时间，而且随着维数的增加，本文算法优势更加明显，这与特征矩阵 B_i 中的 m 远大于特征矩阵 U 中的 s 存在着一定的关系。

4.2.2 基于 ORL 人脸数据库对比试验

再选择 ORL 标准人脸数据库上来做比较实验。ORL 人脸数据库是英国剑桥大学 Olivetti 研究所制作的标准人脸库。本库有 40 个志愿者组成，每个人有 10 张图片，与 Yale 人脸数据库相似，ORL 人脸库各人面部表情和脸部细节也各不相同，如睁眼或闭眼，戴眼睛或不戴眼镜等。图像的分辨率为 92×112 。

实验选取每个人的前五个样本作为训练集，后五个样本作为测试集，同样，每次实验做 10 次，取最后的平均值。实验结果如表 3，表 4 所示。

表 3 ORL 库中不同维数下 2DPCA 与本文算法平均识别率比较 (单位: %)

2DPCA ($m \times d$)	90.1 (112×6)	90.8 (112×7)	92.3 (112×8)	91.4 (112×9)	92.5 (112×10)
本文算法 ($s \times d$)	90.3 (16×6)	92.2 (16×7)	91.7 (16×8)	93.1 (16×9)	93.9 (16×10)

从表 3 中可以看出，在本次试验中，本文算法识别率在本实验中稍优于传统 2DPCA 算法。

我们还从算法时间复杂性的角度，来比较两种算法所需要的识别时间，比较结果见表 4。

表 4 ORL 库不同维数下 2DPCA 与本文算法平均识别时间比较 (单位: 秒)

2DPCA ($m \times d$)	1.5122 (112×6)	1.9315 (112×7)	2.3047 (112×8)	2.6127 (112×9)	2.9268 (112×10)
本文算法 ($s \times d$)	0.6994 (16×6)	0.7027 (16×7)	0.7334 (16×8)	0.7684 (16×9)	0.7879 (16×10)

从表 4 中可以看出，本文算法在平均识别时间方面亦有较大的优势。

4.2.3 本文算法与其他方法对比试验

在实验中，对 ORL 人脸库总共 40 个人中的每个人随机选取 6 张图片用于训练，其余 4 张作为测试，这样一共有 240 个训练样本与 160 个测试样本，每个样本重复测试 10 次，取平均值作为最终结果。实验结果见下表 5 所示。

表 5 ORL 库上本文算法与其他方法对比试验

	训练时间 (s)	识别时间 (s)	平均识别率 (%)
PCA	196.26	0.24	90.23
LDA	49.57	0.09	90.74
LPP	51.24	0.11	91.17
本文算法	25.63	0.10	92.41

从实验结果可以得出,本文算法在平均识别率上强于其他算法,在识别时间上,虽然略不如 LDA 算法,但已非常接近。

5 结论

针对 2DPCA 的人脸识别算法维数过高的问题,提出了一种 2DPCA 改进算法,经过两次 2DPCA 特征提取,能够有效的降维。在 Yale 与 ORL 标准人脸数据库上实验结果证明,与传统 2DPCA 算法相比,改进后的 2DPCA 算法在保证较好的识别率的同时,并具有较快的识别速度与较少的数据存储空间,与其他经典算法相比,此算法在平均识别率上具有一定的优势。但在实验中发现,对不同训练样本,如 Yale 与 ORL 数据库,识别率不尽相同,如何探索更高并且更稳定的识别方法有待进一步研究。

参考文献

- 1 Turk M, Pentland A. Eigenfaces for recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1991,3(1):71-86.
- 2 Shufelt JA. Performance evaluation and analysis of monocular building extraction. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997,19(4):311-326.
- 3 Osuna E, Freund R, Girosi F. Training Support Vector Machines an Application to Face Detection. *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, 1997:130-136.
- 4 Lin SH, Kung S, Lin LJ. Face recognition detection by probabilistic decision based neuralnetwork, *Neural Networks*, 1997,8(1):114-132.
- 5 Lu J, Plataniotis K, Venetsanopoulos A. Face recognition using LDA-based algorithms. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 2003,14(1):195-200.
- 6 Yang J, Zhang D, Frangi AF, Yang JY. Two-dimensional PCA: a new approach to appearance-based face representation and recognition. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2004,26(1):131-137.
- 7 Keun-Chang K, Pedrycz W. Face recognition using an enhanced in-dependent component analysis approach. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 2007,18(2):530-541.
- 8 Matej Arta_c et al. incremental PCA for on-line visual learning and recognition. *Pattern Recognition*, 2002, 781-784.
- 9 Xiaoming Liu, Tsuhan Chen, Susan M. Thomson.eigenspace updating for Non-Stationary Process and its Application to Face recognition. *Pattern Recognition*, 2002,(9).
- 10 Yang J, Yang JY. From image vector to matrix: A straightforward image projection technique-IMPCA vs. PCA. *Pattern Recognition*, 2002,35(9):1997-1999.
- 1 Lopez-Cruz I. L. Efficient Evolutionary Algorithms for Optimal Control [Ph.D. Thesis]. 2002.
- 3 刘武,等.天然气管网优化调度方法研究.西南石油大学学报,2009,31(3):146-149.
- 4 黄江波,一种基于自适应遗传算法统一潮流控制器.重庆理工大学学报,2010,24(3):81-84.
- 5 周江林,差分加速遗传算法及其在市政工程中的应用[硕士学位论文].合肥:合肥工业大学,2007.
- 6 Li D, Wang L. A study on the optimal population size of genetic algorithm. *Proc. of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation*. Shanghai, China, 2002: 3019-3021.
- 7 王万良,吴启迪.生产调度智能算法及其应用.北京:科学出版社,2007.27-30.

(上接第 146 页)