

基于多分类器融合的人脸识别方法^{*}

陈 羽^{1,2}, 赖剑煌¹

(1 中山大学电子通信工程系, 广东 广州 510275)

(2 华南农业大学应用数学系, 广东 广州 510642)

摘 要: 提出了一种融合整体和局部信息进行人脸识别的新方法。首先利用 DCT+LDA 方法提取表达人脸信息能力强的左眼、右眼和嘴巴的局部特征, 利用 Fisherface 方法和简单频谱脸方法提取人脸的整体特征, 然后应用多分类器组合规则融合整体和局部特征, 实验结果表明利用加法融合规则在 ORL 和 FERET 数据库上识别率分别达到 98.45% 和 90.79%, 说明了该方法的有效性, 同时也表明将多分类组合应用于人脸识别是一种比较可行的思路。

关键词: 人脸识别; 局部和整体特征; 多分类器融合

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 04-0024-04

人脸识别技术的的研究已经有几十年了^[1], 由于受光照、姿势、表情变化等因素的影响, 使得该研究成为一项极富挑战性的课题。在人脸识别算法中, 很多都是基于外观的^[2-3], 然而, 不同的基于外观人脸识别方法由于受不同因素的影响具有不同的鲁棒性。近年来, 多分类器的融合已经成为模式识别的研究热点, 并在很多领域取得了较好的应用效果^[4-10]。Kittler^[11]在基于最小错误率的贝叶斯理论上提出了包括加法规则, 乘法规则等分类器融合规则, 在此基础上, Huang 等^[12]提出了将单个分类器识别率作为权重的加权融合规则。

本文研究了基于整体特征和局部特征融合的人脸识别方法。通过利用 DCT+LDA 方法提取表达人脸信息能力强的局部特征 (左、右眼和嘴巴), 同时利用 Fisherface 方法和简单频谱脸方法提取人脸的整脸特征, 构造不同的分类器。

1 成员分类器

通常模式识别理论中的分类器概念是指分类的方法, 而在多分类器组合中采用的分类器概念, 一般是指选用不同的特征和不同的分类方法进行模式分类, 本文正是采用了这种广义上的分类器概念, 下面是 3 种成员分类器简介。

(1) Fisherface 方法: Delhumour 使用 Fisher 的线性判别准则 (FLD), 提出了首先用 PCA 降低人脸空间维数, 然后再利用 LDA 的 Fisher 脸方法,

它选择以类内散度的正交矢量作为特征空间, 使得特征矢量强调了不同人脸的变化不是由于光照条件、人脸表情和方向引起的距离变化, 所以对光照和人脸表情变化有较好的适应性。

(2) 基于离散余弦变换的人脸的识别方法 (DCT+LDA): 首先对人脸图像进行离散余弦变换 (DCT), 由于变换后的频谱图像所包含的信息主要集中在图像的左上角, 通过实验选取左上角合适大小的子块, 再利用上述线性判别分析 (LDA) 方法进一步提所选子块频谱图像的信息。

(3) 简单频谱脸方法: 频谱脸是赖剑煌等^[13]提出的一种新的人脸识别方法, 首先采用某种具有一定光滑度, 紧支和正交的小波函数, 对人像矩阵实施若干层二维小波分解, 并取低频的子图像作为其低维近似表达, 然后对选择出来的低维特征图像抽取 Fourier 不变特征。在本文中, 在对图像进行两层小波分解和 Fourier 变换后, 为了实验设计的方便, 没有定义力矩变换, 而是直接提取了频谱幅值信息作为人脸的特征表达, 这种方法称不上是完整的频谱脸方法, 只是频谱脸方法中的一部分, 本文将其定义为简单频谱脸方法。

2 多分类器融合算法

Kittler 在基于最小错误率的贝叶斯理论上提出了分类器组合理论框架, 其组合理论框架如下:

* 收稿日期: 2005-09-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60373082); 教育部科学技术重点项目资助项目 (105134)

作者简介: 陈羽 (1974 年生), 男, 助教; 通讯联系人: 赖剑煌; E-mail: stslh@zsu.edu.cn

设 Z 为待分模式，类别集合为： $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ ，有 L 个分类器，记为 $F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ ，第 l 个分类器相对应的样本特征为 $x_l, l=1, 2, \dots, L$ 。取最大的后验概率对应的类别作为融合后的结果，即： $F(Z) = \omega_n, \text{ if } P(\omega_n | x_1, x_2, \dots, x_n) = \max_{m=1, 2, \dots, M} P(\omega_m | x_1, x_2, \dots, x_n)$

(1) 由各分类器条件独立假设得乘法融合规则：

$$F(Z) = \omega_n, \text{ if } P^{-(L-1)}(\omega_n) \prod_{l=1}^{L-1} P(\omega_n | x_l) = \max_{m=1, 2, \dots, M} P^{-(L-1)}(\omega_m) \prod_{l=1}^{L-1} P(\omega_m | x_l)$$

(2) 进一步假设后验概率同先验概率的值相差不多，即

$P(\omega_m | x_l) = P(\omega_m)(1 + \delta_{ml})$ 其中 $\delta_{ml} \ll 1$ 可得加法融合规则：

$$F(Z) = \omega_n, \text{ if } (1 - L)P(\omega_n) + \sum_{l=1}^L P(\omega_n | x_l) = \max_{m=1, 2, \dots, M} [(1 - L)P(\omega_m) + \sum_{l=1}^L P(\omega_m | x_l)]$$

从乘法规则和加法规则出发，可以推导出最大、最小和投票法等其他一些分类器融合规则。

3 加权融合规则

Kittler提出的基于贝叶斯的各种融合规则中，将所有分类器的分类性能同等对待，但实际上，每个分类器的分类性能不相同，但可以对每个分类器的输出给定一个权重表示该分类器对最后融合结果的贡献程度。一般情况下，分类器的识别率与其可信程度成正比，这样就可以基于识别率产生权值，可以通过一定数量的训练样本来训练单个分类器，从而可以得到单个分类器的识别，以该识别率作为该分类器的最后权重，就可以得到改进的加法融合规则：

$$\text{assign } Z \rightarrow \omega_n \text{ if } \sum_{l=1}^L P(\omega_n | x_l) = \max_{m=1}^M \sum_{l=1}^L w_l P(\omega_m | x_l)$$

其中， w_l 表示赋予第 l 个分类器的权重。

4 实验设计及其结果比较和分析

实验中使用了 ORL 和 FERET 人脸数据库进行测试。ORL 数据库共有 400 幅人脸图像（40 人，每人 10 幅，大小为 92×112 像素，截取的左、右眼大小为： 30×20 像素，嘴巴大小为 47×17 像素）。本文中的 FERET 数据库包含 255 个人，每人 4 幅正脸图像，并截取了脸部大小 92×112 左、右眼大小 36×26 像素，嘴巴大小为 41×21 像素，

经过归一化，基本上没有姿势和伸缩变换，但是光照变化很大，还有一些表情变换和遮掩，图 1 和图 2 是 ORL 和 FERET 数据库的一些人脸图像。



图 1 ORL 人脸数据库中的 1 个人的 10 幅图像
Fig. 1 Some example face images of ORL database



图 2 FERET 人脸数据库中的 3 个人的 12 幅图像
Fig. 2 Some example face images of FERET database

4.1 Olivetti 数据库上的实验设计及其结果

实验 1 为了实验结果更加客观，在数据库上随机选取每人 5 幅图像，共 200 幅用于训练，剩下的 200 幅图像用做测试，实验共进行 50 次。从实验结果 (表 1) 可以看出，当将 DCT+LDA 方法应用到人脸的不同部位时，识别率明显不同，说明人脸的不同部位包含了不同的识别信息。但是将 DCT+LDA 方法应用于提取人脸的整体特征时，识别率达到了 95.87%，说明了整体所包含的信息要多于局部所包含的信息。

实验 2 利用 DCT+LDA 方法分别提取人脸左、右眼和嘴巴的局部特征，同时，利用 Fisherface 方法和简单频谱脸方法提取人脸的整体特征，然后再利用融合规则进行分类器融合。实验结果见表 2 可以看出，加法融合规则的一阶识别率可以达到 98.45%。

试验 3 试验设计时，首先对低频子图像分别用 DCT+LDA、Fisherface 方法和简单频谱脸方法提取人脸的整体特征，再利用 Kittler 和本文提出的融合规则进行组合分类，从实验结果 (表 3) 可以看出，在前面 5 种组合规则中，加法融合规则的第一阶识别率最高可以达到 97.07%，而加权数据融合的一阶识别率可以达到 97.59%。

4.2 FERET 数据库上的实验设计及其结果

实验 1 同样为使实验结果更加客观准确，采用留一法进行交叉实验。从实验结果 (表 1) 中可以看出，当将 DCT+LDA 方法应用到人脸的不同部位时，其识别率也明显不同。单一的人脸识别方法在 FERET 数据库上的识别率都不高，当将 DCT+LDA 方法应用于整脸时，识别率才达到 83.17%，而简单频谱脸方法仅仅达到 53.34%。

表 1 ORL和 FERET 数据库上单分类器的识别率
Tab.1 Recognition rate of single classifier in the ORL and FERET database

	ORL数据库 %			FERET数据库 %		
	一阶	二阶	三阶	一阶	二阶	三阶
简单频谱脸方法	93 10	95 77	97 24	53 34	58 63	61 67
Fisherface方法	91 51	94 92	97 13	80 30	84 32	86 87
DCT+LDA(整脸)	95 87	98 34	98 78	83 17	88 33	89 90
DCT+LDA(左眼)	73 97	81 73	87 20	71 57	77 55	80 48
DCT+LDA(右眼)	76 06	83 12	86 32	70 78	75 86	80 49
DCT+LDA(嘴巴)	72 49	81 33	85 54	63 59	71 93	75 88

表 2 ORL和 FERET 数据库上基于局部和整体特征相结合的融合结果
Tab.2 Result of fusion in the ORL and FERET database fusing global and local feature

	ORL数据库 %			FERET数据库 %		
	一阶	二阶	三阶	一阶	二阶	三阶
乘法规则	98 24	99 25	99 41	89 22	91 67	93 43
加法规则	98 45	99 46	99 62	90 39	92 45	93 63
投票规则	96 35	98 06	98 52	87 06	89 41	90 88
最小化规则	68 21	91 24	97 67	57 30	80 19	88 92
最大化规则	95 75	97 97	98 33	80 30	84 21	85 88
加权加法融合	98 46	99 50	99 67	90 79	92 65	93 63

实验 2 先利用 DCT+LDA 分别提取人脸左眼、右眼和嘴巴的局部特征，同时，利用 Fisherface 方法和简单频谱脸方法提取人脸的整体特征，结合人脸所局部特征和整体特征，利用 Kittle 提出的融合规则和本文提出的融合规则进行分类器融合，实验同样采用了留一法进行交叉实

验，实验结果如表 2

实验 3 实验时，利用 DCT+LD 方法、Fisherface 方法和简单频谱脸方法提取人脸的整体特征，然后再利用 Kittle 提出的融合规则和本文提出的融合规则进行分类器融合，同样采用了留一法进行交叉试实验，实验数据如表 3

表 3 ORL和 FERET 数据库上基于整体特征融合结果
Tab.3 Results in the ORL and FERET database fusing global features

	ORL数据库 %			FERET数据库 %		
	一阶	二阶	三阶	一阶	二阶	三阶
乘法规则	97 07	99 03	99 27	85 39	89 02	91 86
加法规则	96 96	99 01	99 28	86 25	89 42	91 67
投票规则	96 48	98 26	99 05	82 36	86 57	90 69
最小化规则	93 12	98 74	99 43	68 73	82 84	85 69
最大化规则	96 35	98 25	98 52	80 00	87 65	91 57
加权加法融合	97 59	99 08	99 48	87 45	88 63	92 16

4.3 实验结果分析和结论

从实验结果可以看出，选取合适的多分类器将其融合用于人脸识别时，可以明显提高识别率，表明本文提出的方法比较有效。其主要原因是：首先，Fisherface 方法对光照和人脸表情变化有较好的适应性。其次，人脸往往有一定的旋转，对于较小角度的旋转，人脸的某些局部区域的变化与人脸整体区域相比要小得多，所以这些局部区域的特征

相对而言具有一定的不变性，第三，频谱脸方法抽取的特征有变换不变性，对表情变化、少量遮掩、微小姿势变化不敏感性。

通过在不同的数据库设计的两种不同的融合实验中发现，基于局部和整体相结合的人脸识别方法所得到的结果要优于基于整体特征相结合的结果，说明局部和整体之间的信息具有相当的互补性。所以，研究人脸各局部区域在机器识别中的贡献，对

于有效选择局部特征用于识别是很有大的帮助的。

将多分类器融合应用于人脸识别, 虽然得到了一些较理想的结果。由于各种因素的影响, 仅仅应用人脸的特征信息来进行准确的人脸识别仍较困难, 所以, 在一些高级信息安全的应用中, 需要研究人脸与指纹、虹膜、语音等识别技术的融合方法, 这也是生物特征识别技术的一种发展趋势。

参考文献:

- [1] ZHAO W, CHELLAPP R, RSENFELD A et al Face recognition: A literature survey[R]. CVL Technical Report University of Maryland 2000.
- [2] BEIHUMEUR P N, HESPAHHA J P, KREGMAN D J Eigenfaces vs Fisherfaces: recognition using class specific linear projection[J]. IEEE Trans PAMI 1997 19(7): 711 - 720.
- [3] SWETS D L, WENG J Using discriminant eigenfeatures for images retrieval[J]. IEEE Trans PAMI 1996 18(8): 831 - 836.
- [4] HONG L, JAN A K Integrating faces and fingerprint for personal identification[J]. IEEE Trans PAMI 1998 20(12): 1295 - 1307.
- [5] MARCIALIS G L, ROLI F Fusion of LDA and PCA for verification[J]. Biometric Authentication 2002 6 LNCS 2359: 30 - 37.
- [6] JING Xiaoyuan, ZHANG David, YANG Jingyu Face recognition based on a group decision - making combination approach[J]. Pattern Recognition 2003 36(7): 1675 - 1678.
- [7] TAN KAM HO, HULL J J, SRINIVAS S N. Decision combination in multiple classifiers systems[J]. IEEE Trans PAMI 1994 16(1): 66 - 75.
- [8] LEI XU, KRZYAK A, SUEN C Y. Methods of combining multiple classifiers and their applications to the handwriting recognition[J]. IEEE Trans Systems Man Cybernet 1992 22(3): 418 - 435.
- [9] HUANG Y S, SUEN C Y. A method of combining multiple experts for the recognition of unconstrained handwritten numerals[J]. IEEE Trans PAMI 1995 17(1): 90 - 94.
- [10] NAONORI UEDA. Optimal linear combination of neural networks for improving classification performance[J]. IEEE Trans PAMI, 2000 22(2): 207 - 215.
- [11] KITTLER J, HATEF M, DUIN R et al On combining classifiers[J]. IEEE Trans PAMI 1998 20(3): 226 - 239.
- [12] HUANG J, YUEN P C, LAI J H et al Face Recognition Using Local and Global Features[J]. EURASIP Journal on Applied Signal Processing 2004(4): 530 - 541.
- [13] 赖剑煌, 阮邦志, 冯国灿. 频谱脸: 一种基于小波变换和 Fourier 变换的人像识别新方法[J]. 中国图象图形学报. 1999 4A(10): 811 - 817.

Face Recognition Based on the Fusion of Multiple Classifiers

CHEN Yu^{1, 2}, LAI Jian-huang¹

(1. Department of Electronics and Communication Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Department of Applied Mathematics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract A new face recognition method applying the information of the global and local features is presented. First the best representation of local features of left eye, right eye and mouth is extracted with face recognition algorithm's DCT+LDA method and the global feature with algorithm's Fisherface and simple spectroface method, and then the global and local features are combined applying the multiple classifiers fusion rule. Experimental results show the recognition rate is 98.45% in the ORL database and 90.79% in the FERET database applying weighted sum rule, showing the method is available and the thought is feasible using multiple classifiers fusion for face recognition.

Key words face recognition; local and global feature; multiple classifier fusion