

基于小波子带的 PCA 人脸识别方法研究

陶晓燕, 刘振霞, 王元一

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:随着人机接口和识别技术的不断发展,人脸识别已经成为一门很活跃的研究领域。如今,PCA(主成份分析)已应用在许多人脸库的识别中,并取得了很好的效果。然而,PCA有它的局限性:大的运算量和较低的判别能力。针对这些缺点,文中提出了一种新的算法,将PCA运用在小波子带上,用包含了原始图像的大部分信息的低频子带作PCA。和传统的方法相比较,该方法得到了较好的识别率,同时也降低了运算量。当训练样本很大时,这点就显得尤为重要。

关键词:人脸识别;PCA;小波变换;子带

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)03-0065-03

由于安全因素的影响,用户身份的辨别变得越来越重要。传统上,通常使用ID卡和密码来表明身份,但是安全性不是很可靠。近几年来,利用语音、虹膜、指印和人脸等生物特征鉴别身份的方法引起了许多学者的广泛的研究兴趣。其中,人脸识别被认为是一种很好的方法,因为它不会干涉用户的任何活动,实施既经济又方便^[1]。

由计算机来完成的自动人脸识别技术主要有两大类:基于成分和基于人脸的识别方法。在基于成分方法中,识别是依靠人的脸部特征,例如眼、鼻子和脸框等的几何特征来实现的。这些方法的成功很大程度上要依赖于所使用的特征判别算法,然而准确提取脸部特征是很难的。基于人脸的方法是将人脸作为1个整体来定义的,即把人脸看成1个二维图像,利用其统计特征来完成判别。PCA已经被证明是一种有效的方法。Sirovich和Kirby首先提出用K-L变换来表示人脸,就是将人脸表示成1组加权特征向量的线性组合,这些特征向量就是特征脸。Turk和Pentland利用PCA开发了1个人脸识别系统^[2]。然而,PCA算法存在两大局限性:低的判别力和庞大的运算量。虽然利用矩阵知识可以简化运算量,但是随着训练图像个数的增大,计算量将会以3次方的速度增加。

鉴于PCA方法存在的局限性,本文提出一种新的方法——将PCA用在小波子带上。在该方法中,1幅图像信息将被分解到许多小波子带中,我们进行了三级分解,并选用低频部分作PCA,这样不仅降低了运算量,而且获得了较高的识别率。

1 特征脸

特征脸是基于主成分分析原理的,目的是寻求最佳的向量来表示整个图像空间。过程如下:

设有向量集合

$$X = \{X_n, n = 1, \dots, N\} \in R^{d \times d}$$

其中: N 为训练图像总数, X_n 为将每幅图象的数据矩阵行相连所构成的列向量,图像的维数是 $d \times d$,则有:

$$E(X) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n \quad (1)$$

收稿日期:2003-12-17

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2003F0304)

作者简介:陶晓燕(1971-),女,四川成都人,讲师,博士生,主要从事数字图像及智能信息处理技术研究。

$$\bar{X} = \{\bar{X}_n, n = 1, \dots, N\}$$

$$\bar{X}_n = \bar{X}_n - E(X)$$

构造协方差矩阵

$$M = \bar{X} \bar{X}^T \quad (2)$$

根据矩阵的知识,知道 M 是一个半正定矩阵,且只有非负实特征值。 M 矩阵是一个 $d^2 \times d^2$ 的矩阵,直接求计算量太大。因为 M 与 $\bar{X}^T \bar{X}$ 的特征值相等,一般来说训练样本要比图像维数小得多,所以先求 $\bar{X}^T \bar{X}$ 的特征值,继而求 $\bar{X} \bar{X}^T$ 的特征向量,然后按照从大到小的顺序选取 m 个特征值所对应的向量构成变换矩阵

$$W_{pca} = [w_1, w_2, \dots, w_m]$$

这些特征向量就是说的特征脸。这样每个图像就可表示成特征脸的加权和,其加权系数为

$$y = W_{pca}^T (X - E(X)) \quad (3)$$

2 基于小波子带的 PCA 算法^[3]

2.1 小波变换

小波变换的优点在于良好的时间和频率特性,应用范围很广。用小波来分解图像的原因是:

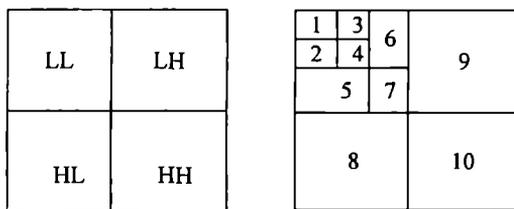
- 1) 用小波变换将图像分解之后,子带图像的分辨率降低了,相应的计算复杂度也大大降低了。
- 2) 小波分解提供了很好的空间和频率局部信息。

为了选择 1 个最佳的小波,运用不同的小波作了实验,识别率和所用的时间列在表 1 中,从表 1 可以看出,Db2,Db3 要比别的好一些,但是没有本质的不同,因此选用 Db2 来实现给出的算法。

表 1 在 Yale 人脸库中运用不同的小波得到的识别率

Wavelet	Training time(s)	Testing time(s)	Recognition rate(%)	Size of subband image
Db2	3.90	0.122	83.8	15 × 15
Db3	5.44	0.153	80	
Db4	6.39	0.195	78.1	
bior4.4	6.08	0.18	76.2	

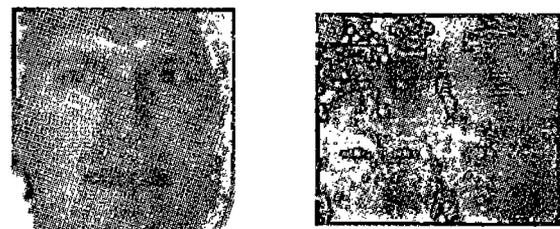
二维小波变换实际是进行两次一维小波变换,经过一级小波变换之后,1 幅图像分解成 4 个子带,如图 1(a)所示。子带 LL 是低频成分,集中了原始图像的大部分信息,LH 和 HL 反映了图像沿着水平和垂直方向的变化,HH 子带代表了图像的高频成分。还可以对 LL 子带运用小波算法继续分解,图 1(b)就是 1 个三级分解示意图。图 2(b)就是图 2(a)的三级小波分解。原始图像取自于 Yale 人脸库。



(a)一级小波分解

(b)三级小波分解

图 1 三维图像的小波分解



(a)原始图像(100 × 100)

(b)图(a)的三级分解

图 2 Yale 人脸库中图像的三级小波分解

2.2 基于小波子带的 PCA 识别系统

人脸识别系统是由两部分组成,即训练过程和识别过程。训练过程分为 1 个阶段,首先对图像进行小波变换,求得三级分解子带图像,在此基础上,运用 PCA 计算出特征脸,并且把参考子带图像转换成特征脸的线性表示,其加权系数存在标准库中。识别过程利用特征脸将测试图像的子带转换成其线性表示,然后将系数和标准库中的参考图像系数比较,来识别人脸。我们选取的特征脸个数为 20,判别算法用的是欧氏距离。图 3 是该系统的流程图。

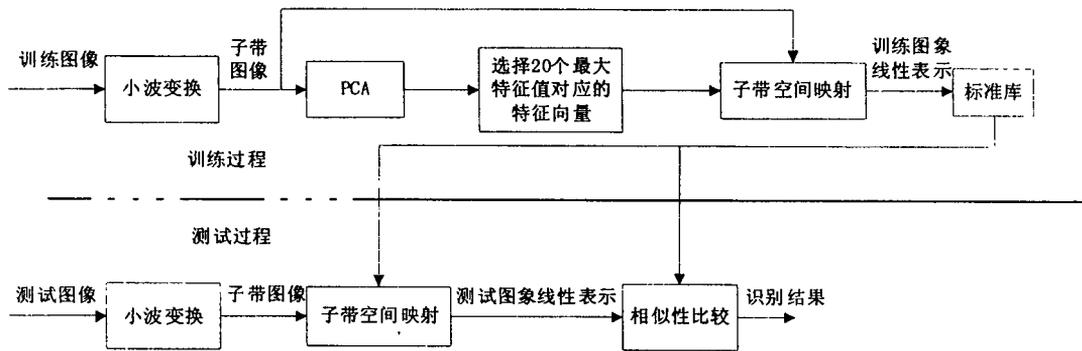


图3 基于小波子带的 PCA 识别系统框图

3 实验结果

本文选用了 *Db2*, 数据库选用的是 Yale 人脸库, 该数据库中有 15 个人, 每人包括 11 幅不同的图像, 其中 2 幅是有光照的, 考虑光照对识别效果的影响, 将这两幅去掉。训练时, 每人选 2 幅, 总共 30 幅, 剩下的 105 幅用来测试。该库中原始图像为 256 灰度级, 尺寸为 100×100 像素大小, 已经过归一化的预处理。

实验内容包括: 基于原图像 PCA 算法; 基于三级小波变换子带 2, 3, 4 的 PCA 算法; 基于子带 1 的 PCA 算法; 这些子带大小为 15×15 。结果列在表 2 中。

表2 不同方法性能比较

method	PCA on original image	PCA on sub2 image	PCA on sub3 image	PCA on sub4 image	Proposed method (PCA on sub1 image)
Training time(s)	194	4.69	4.55	4.73	3.9
Testing time(s)	0.324	0.117	0.118	0.116	0.122
Recognition rate(%)	81.9	58.1	51	45.7	83.8

实验结果表明, 先用小波变换对图像进行分解, 然后用低频子带进行 PCA 识别。与直接在原图像上运用 PCA 相比, 该算法有较好的识别率。

参考文献:

- [1] Jen - Tzung Chien, Chia - Chen Wu. Discriminant Waveletfaces and Nearest Feature Classifiers for Face Recognition[J]. IEEE trans on PAMI, 2002, 24(12): 1644 - 1649.
- [2] Turk M A, Pentland A P. Face Recognition Using Eigenfaces[A]. Proc IEEE Conf Computer Vision and Pattern Recognition[C]. 1991, 585 - 591.
- [3] Feng G C, Uuen P C, Dai D Q. Human Face Recognition Using PCA on Wavelet Subband[J]. SPIE Journal of Electronic Imaging, 2000, 9(2): 226 - 233.
- [4] 李晓春, 陈 鲸. 一种基于小波变换的图像融合新方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(2): 55 - 58.

(编辑: 门向生)

Face Recognition Using PCA Based on Wavelet Subband

TAO Xiao - yan, LIU Zhen - xia, WANG Yuan - yi

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: As an important method, PCA has been widely used in many face bases recognition with a good result. To counter its limitations such as larger computation and lower identification, a new method using PCA on wavelet sub - band is presented in this paper, and PCA is applied to the low - frequency sub - band that contains most of the information of the original image. The experimental results show that this algorithm can reduce the computation load and get the higher identification compared with the traditional method.

Key words: face recognition; PCA; wavelet transform; subband