

基于局部奇异值分解和模糊决策的人脸识别方法

杜 干 朱雯君

(上海大学通信学院, 上海 200072)

摘 要 针对仅在整幅人脸图像上进行奇异值分解无法得到人脸识别所需的足够信息的特点,提出了一种利用人脸图像的局部奇异值和模糊决策进行人脸识别的方法。该方法的关键是不在整幅人脸图像上进行,而是在人脸的不同区域进行奇异值分解以提取更丰富的信息。提出了人脸局部奇异值特征向量的构造方法。在识别阶段,对待识别人脸的特征向量,计算其对各人脸样本的隶属度,最后做出判断。该方法与传统方法在 ORL 人脸库上进行的对比实验结果表明了该方法的优越性。

关键词 奇异值分解 隶属度 模糊决策 人脸识别

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)10-1456-04

Face Recognition Method Based on Singular Value Decomposition and Fuzzy Decision

DU Gan, ZHU Wen-jun

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

Abstract A face recognition method using singular value decomposition (SVD) on human local facial area and fuzzy decision is presented in this paper to solve the problem that singular value decomposition on whole facial image can not provide enough information for face recognition. The key of this approach is that singular value decomposition is applied to different parts of human facial area instead of the whole facial region. So the rich information can be obtained for recognizing human face. The way of establishing feature vectors based on local singular value decomposition is proposed. In the recognition step, the features vector of input facial image are set up, and then the membership degrees of these features to each facial sample are computed respectively, and finally the decision can be obtained. Comparative experimental results on ORL face database show that its performance is better than that of traditional SVD-based methods.

Keywords singular value decomposition, membership degree, fuzzy decision, face recognition

1 引 言

人脸识别是计算机视觉、模式识别和图像处理中的一个重要内容,在电视监视、罪犯查询识别、安全门卫系统等方面有着重要的应用价值。因此其相关技术得到了人们广泛而深入的研究^[1-3]。而如何有效地提取好的识别特征与设计相应的分类器是人脸识别中的关键问题。奇异值分解是一种良

好的图像特征提取方法。由于它对于旋转和镜像变换具有不变性,以及对噪声和光强变换也具有较好的鲁棒性,近年来,图像的奇异值已经作为特征向量被成功地应用于人脸识别领域。例如,利用奇异值进行人脸识别,建立基于 Sammon 最佳鉴别平面的 Bayes 分类模型^[4];利用奇异值的统计模型识别人脸^[5]。后来又有许多研究者对奇异值分解识别法进行了发展^[6-8],但他们的共同做法是将整个图像的奇异值作为特征向量。最近的研究表明^[9],仅在

基金项目:上海市青年基金项目(04AC85);上海市重点学科建设项目(T0102)

收稿日期:2005-07-18;**改回日期:**2005-10-17

第一作者简介:杜干(1971~),女,副教授。2000年在西安电子科技大学获信息与信号处理专业博士学位。主要研究方向为图像处理。

Email: dugan@staff.shu.edu.cn

整幅人脸图像上进行奇异值分解无法得到人脸识别所需的足够信息,必须要提取更多的基于奇异值分解的特征。

提出了一种新的基于奇异值分解的人脸识别方法,该方法首先将人脸的不同区域提取出来分别进行奇异值分解,在对这些奇异值进行处理和选择后形成特征向量。最后计算奇异值特征对各人脸样本的隶属度并做出判断。利用人脸局部特征不但可以获得更多的人脸信息,而且也可以在一定程度上克服表情和光照变化对识别准确率的影响。另一方面,模糊数学方法的应用可以提高识别的可靠性。用 ORL 人脸库的正面人脸图像进行实验,结果表明该方法在人脸表情和姿态在一定范围内变化的情况下具有良好的鲁棒性和准确率。

2 奇异值分解(SVD)

奇异值分解为提取图像的代数特征提供了新的方法,在数据压缩、信号处理和模式分析等许多方面都获得了广泛应用。

若矩阵 $A(A \in \mathbf{R}^{m \times n})$ 代表一幅大小为 $m \times n$ 的图像,对其进行奇异值分解

$$A = U \Sigma_A V^T \quad (1)$$

其中, $U = [u_1, u_2, \dots, u_m] \in \mathbf{R}^{m \times m}$ 和 $V = [v_1, v_2, \dots, v_n]^T \in \mathbf{R}^{n \times n}$ 是两个正交的矩阵, $\Sigma_A = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$ 为对角阵,其中 $\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0, p = \min(m, n)$ 。如果 A 只有 p_1 个非零奇异值,则

$$A = \sum_{i=1}^{p_1} \lambda_i u_i v_i^T \quad (2)$$

而 $S_{p \times 1} = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{p_1}, 0, \dots, 0)^T$ 称为矩阵的奇异值向量。

对于任意一个实矩阵 A ,它的奇异值分解是唯一的,因此原图像对应于一个唯一的奇异值向量。奇异值向量可以作为描述灰度值矩阵 A 的一种数值特征,它具有良好的稳定性,即图像灰度有小的变化时,奇异值向量的变化也不明显。

定理 1 设 $A \in \mathbf{R}^{m \times n}, B \in \mathbf{R}^{m \times n}$, 它们的奇异值分别为 $\delta_1 \geq \delta_2 \geq \dots \geq \delta_n, \tau_1 \geq \tau_2 \geq \dots \geq \tau_n$, 则有

$$\| \text{diag}(\tau_1 - \delta_1, \dots, \tau_n - \delta_n) \| \leq \| B - A \|_2 \quad (3)$$

这意味着当矩阵 A 有小的扰动时,奇异值的变化不大于扰动矩阵的 2-范数。

另外奇异值还具有位移不变性和旋转不变性,这些特性使得奇异值成为人脸识别的良好特征,尤

其是在图像有噪声或人脸表情变化时更有优势。

在实际应用中,为了降低计算复杂度,一般选用数值较大的奇异值而忽略数值较小的奇异值。为克服光照不均匀的影响,对奇异值要进行归一化处理。

3 基于局部奇异值分解和模糊决策的人脸识别方法

在对人脸进行分解处理之前,按文献[10]的方法将人脸的皮肤区域从图像中提取出来,这样识别过程就不会受到发型等因素的影响。如图 1 所示,根据人脸的拓扑结构,将一幅人脸图像分为如下 5 个部分:上半部分、下半部分、眼睛、鼻子和嘴部。眼睛部分首先被定位^[10],接着鼻尖和嘴部的位置也能确定下来。在此基础上,提取人脸图像相对应的 5 个区域。

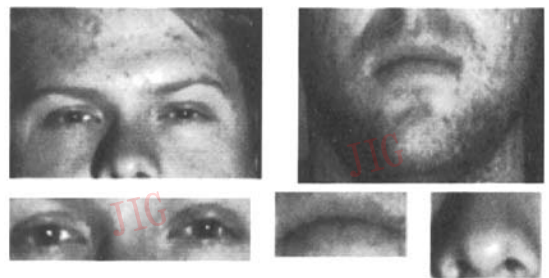


图 1 人脸的 5 个区域

Fig. 1 Facial parts

在采集人脸图像的过程中,由于噪声的存在和各种成像条件的影响,很难对其不确定因素进行数学上的准确描述。所以有理由将复杂的成像环境作为一种模糊环境来看待。通过引入模糊集的理论,对人脸图像识别中的不确定信息进行客观的定量分析和有效处理,以提高识别的可靠性和智能度。

本文人脸识别方法的主要步骤如下:

(1) 假设人脸库中共有 N 个人,每个人有 M 幅训练图像。对第 i 个人,其训练图像用 $F_{ij}, (j = 1, 2, \dots, M)$ 表示。分别对每幅训练图像的 5 个部分进行 SVD 处理,得到各个部分的奇异值,取其最大的 10 个奇异值构成特征集,用 $Y_{i1}, Y_{i2}, Y_{i3}, Y_{i4}$ 和 Y_{i5} 表示,其中

$$Y_{ijk} = [\lambda_{ijk1}, \lambda_{ijk2}, \dots, \lambda_{ijk10}]^T \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, \dots, 5$$

用如下公式对其进行平均运算得到第 i 个人的

模板参数集 $Y_i = (Y_{i1}, Y_{i2}, Y_{i3}, Y_{i4}, Y_{i5})$,

$$Y_{ik} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M Y_{ijk} \quad k = 1, 2, \dots, 5 \quad (5)$$

(2) 对待识别的人脸图像 X_F 也进行如上处理, 得到其特征集 $X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$, 其中,

$$X_i = [\lambda_{i1}, \lambda_{i2}, \dots, \lambda_{i10}]^T \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad (6)$$

(3) 根据模板参数集 Y_i 和待识别人脸图像的特征集得未知人脸属于第 i 个人的隶属度为

$$d_i = \frac{1}{5} (w_1 d_{i1} + w_2 d_{i2} + w_3 d_{i3} + w_4 d_{i4} + w_5 d_{i5}) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$$d_{ik} = \exp(-\|X_k - Y_{ik}\|^2) \quad k = 1, 2, \dots, 5 \quad (8)$$

其中, w_1, w_2, w_3, w_4 和 w_5 是人脸不同区域的权值, $\sum_{k=1}^5 w_k = 1, w_k \geq 0$. 假设 $d_j = \max_{1 \leq i \leq N} (d_i)$, 则认为该图像 X_F 属于第 j 个人。

4 实验结果

将本文方法在 ORL (olivetti research laboratory) 人脸库上进行测试。该人脸库包含 40 个人, 每个人有 10 幅图像。图像为单一深色背景的正面图像, 包含了一定的光照变化、表情变化 (睁眼和闭眼, 笑与不笑)、面部细节变化 (戴眼镜与不戴眼镜) 以及一定范围内的深度旋转。这些图像大小均为 92×112 像素。对每个人, 随机选取 6 张图像作为训练样本, 其余的用来测试识别方法的性能。这一过程重复 20 次, 对识别准确率进行平均。通过对不同的训练和测试样本进行实验, 就可以得到人脸识别方法性能的可靠估计。

每幅图像在器官定位后得到 5 张子图像, 对子图像归一化后的大小分别为: (1) 上半部分, 大小为 92×56 像素; (2) 下半部分, 大小为 92×56 像素; (3) 眼睛区域, 大小为 80×20 像素; (4) 鼻子区域, 大小为 25×22 像素; (5) 嘴部区域, 大小为 30×15 像素。在实验中每部分进行奇异值分解后取其最大的 10 个奇异值构成特征集, 这样共有 50 个奇异值描述人脸图像。

不同人脸区域的权值是由各个区域在人脸识别中的贡献决定的。生物学的研究表明, 在识别过程中, 上半部分比下半部分更重要, 而眼睛和嘴部比鼻子在识别中起的作用更大。用如下的 4 组权值进行实验, 所获得的识别准确率如表 1 所示。

表 1 用 4 组权值分别进行识别时的准确率

Tab.1 Recognition accuracy using 4 sets of weighting factors, respectively

| 组号 | w_1 | w_2 | w_3 | w_4 | w_5 | 准确率 (%) |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1 | 0.250 | 0.312 | 0.125 | 0.188 | 0.125 | 87.8 |
| 2 | 0.153 | 0.385 | 0.077 | 0.308 | 0.077 | 86.9 |
| 3 | 0.250 | 0.125 | 0.250 | 0.125 | 0.250 | 91.5 |
| 4 | 0.294 | 0.235 | 0.176 | 0.119 | 0.176 | 94.2 |

从表 1 可以看出, 用第 4 组权值可以得到最好的识别准确率, 这和已有结论是吻合的。也就是说, 这组权值适当地强调了人脸识别中重要器官的作用, 而获得了更好的识别效果。

本文方法和现有的基于 SVD 的 3 种方法^[7-9]进行了比较, 其结果如表 2 所示。可以看到本文方法的识别准确率优于其他 3 种方法。这是容易理解的, 现有的 3 种方法只用了人脸的全局信息, 而本文方法利用了人脸的局部信息更好地体现了人脸的特征。另一方面, 利用人脸器官的奇异值而不是整幅人脸的奇异值, 可以有效地避开因人脸表情和光照的变化带来的干扰, 这也有助于提高识别的鲁棒性和准确率。在运算时间方面, 在整幅人脸图像上进行奇异值分解所耗费的时间为 0.047s, 而上半部和下半部分别进行奇异值分解所需时间约为 0.015s。眼睛、鼻子和嘴部由于所覆盖的像素相对少, 其运算时间少于 0.001s。因此从整体上看, 将脸部分为 5 部分比将人脸作为整体进行奇异值分解更省时。

表 2 本文方法和现有的基于 SVD 的 3 种方法的识别准确率

Tab.2 Recognition accuracy of the proposed method and three existing SVD-based methods

| | 文献[7]中的方法 | 文献[8]中的方法 | 文献[9]中的方法 | 本文方法 |
|---------|-----------|-----------|-----------|------|
| 准确率 (%) | 81.6 | 90.8 | 83.7 | 94.2 |

5 结论

奇异值分解由于具有稳定性、位移不变性和旋转不变性等良好特性, 为图像提供了一个提取代数特征的新途径。本文提出了对人脸局部进行奇异值分解处理以获得人脸特征并用模糊决策进行识别的

方法。实验结果表明,该方法的性能比传统的基于奇异值分解的方法好。此方法也可以推广到其他的图像识别和分类问题中。

参考文献 (References)

- 1 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.
- 2 Samal A, Iyengar P A. Automatic recognition and analysis of human faces and facial expressions: A survey[J]. *Pattern Recognition*, 1992, **25**(1):65 ~ 77.
- 3 Valentin D, Abdi H, O' Toole A J. Connectionist model of face processing: A survey [J]. *Pattern Recognition*, 1994, **27**(9): 1209 ~ 1230.
- 4 Hong Z. Algebraic feature extraction of image for recognition [J]. *Pattern Recognition*, 1991, **24**(2): 211 ~ 219.
- 5 Cheng Y Q, Liu K, Yang J, *et al.* Human face recognition method based on the statistical model of small sample size [A]. In: *SPIE Proceedings; Robots and Computer Vision [C]*, Beijing, China, 1991, **1607**: 85 ~ 95.
- 6 Liu K, Yang J Y, Wang H F, *et al.* A generalization optimal set of discriminate vectors[J]. *Pattern Recognition*, 1992, **25**(7):731 ~ 739.
- 7 Wang Yun-hong, Tan Tie-niu, Zhu Yong. Face identification based on singular decomposition and data fusion [J]. *Chinese Journal of Computer*, 2000, **23**(6):649 ~ 653. [王蕴红,谭铁牛,朱勇. 基于奇异值分解和数据融合的脸像鉴别[J]. *计算机学报*, 2000, **23**(6):649 ~ 653.]
- 8 Gan J Y, Zhang Y W. A new approach for face recognition based on singular value features and neural networks [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2004, **32**(1): 170 ~ 173. [甘俊英,张有为. 一种基于奇异值特征的神经网络人脸识别新途径[J]. *电子学报*, 2004, **32**(1): 170 ~ 173.]
- 9 Tian Y, Tan T, Wang Y H, *et al.* Do singular values contain adequate information for face recognition [J]. *Pattern Recognition*, 2003, **36**(6):649 ~ 655.
- 10 Feng G C, Yuen P C. Multi-cues eye detection on gray intensity image[J]. *Pattern Recognition*, 2001, **34**(10):1033 ~ 1046.