

# 基于带通滤波和遗传算法的人脸图象预处理及识别\*

荆晓远 金忠 杨静宇

(南京理工大学计算机科学与工程系 603 教研室, 南京 210094)

**摘要** 从增强图象的分类信息角度出发, 对人脸图象做频域上的带通滤波预处理, 来提高奇异值特征的分类性能。给出了一组圆形滤波函数, 并使用遗传算法来选择可分性较大的频段和进行圆形滤波函数的参数估计, 设计了染色体的表示方式和适应度的求法。实验证明, 做频段选择预处理, 奇异值特征的分类效果比处理前有较明显的提高, 而做更精确的圆形滤波函数的参数估计, 奇异值特征的分类效果比处理前有更明显的提高, 计算量则相对较大。这种方法对其它代数特征也适用。

**关键词** 人脸识别, 奇异值特征, 带通滤波, 遗传算法

## 1 引言

模式识别的基本任务就是利用从样本中提取出的特征将样本划分为相应的模式类别。人脸图象识别是其中一项有着重要的理论研究价值和实用价值, 并且富有挑战性的课题。综述比较全面地阐述了已有的各项研究成果。它指出代数特征反映了图象的内在属性, 是一种本质特征。奇异值特征就是其中一种具有良好性质的代数特征。文献[2]用它来作人脸图象的分类和识别, 取得了一定的效果。但是在以前的工作中, 很少有针对代数特征去做图象的预处理, 而是直接对原始图象矩阵做各种代数变化和分解, 来提取代数特征; 并且对于人脸图象而言, 同一个人的不同人脸样本变化不大。当人脸的姿态和表情等发生较大变化时, 实验表明奇异值特征的分类效果不是很理想。因此, 我们除了选择合适的分类器以外, 需要提高奇异值特征的可分性能。本文认为有2个因素值得考虑: 选择合适的可分性判据来评价奇异值特征的可分性大小; 对人脸图象做预处理。

模式识别的一些应用场合, 如字符识别等, 所需的训练样本数较多。但是人脸图象的识别在实际应用中是一个需要识别的种类较多, 而训练样本数较

少的识别问题。如果我们从概率统计的角度给出特征的可分性判据就不太合适, 因此本文选择了具有直观物理意义的基于距离的可分性判据。

图象的预处理方法很多, 如对比度增强、平滑、锐化等。其中不少方法是从图象的描述和表示角度出发, 使处理后的图象更符合人的主观感觉。但是为了提高奇异值特征的分类性能, 我们需要从增强图象的分类信息角度出发, 选择合适的预处理方法。本文对人脸图象做频域上的带通滤波, 使用遗传算法来选择可分性较大的频段和进行圆形滤波函数的参数估计, 实验证明了这种方法的有效性。

## 2 奇异值特征抽取和带通滤波

代数特征是由各种代数变换和矩阵分解抽取的, 是图象的本质特征。奇异值特征矢量是一种良好的代数特征。我们对  $N \times N$  大小的原始图象提取  $N$  维奇异值特征向量。实验表明, 当  $N$  小于 30 维时, 奇异值特征的分类效果较差, 即用于识别的图象分辨率一般不低于  $30 \times 30$ , 这和文献[3]的结论相同; 对我们所使用的样本集而言, 当  $N$  取 64 维时, 分类效果较好。

\* 本研究课题得到国家自然科学基金(No. 69672013)和博士点基金的资助

收稿日期: 1998-01-12; 收到修改稿日期: 1998-06-15

当我们只对图象的某些频率分量感兴趣时,希望通过带通滤波处理,使这些特殊的分量得到增强,其余的分量衰减。常用的带通滤波函数有矩形滤波函数和环形滤波函数<sup>[4]</sup>。如果我们以零频率分量为频域中心,靠近零频率分量的是低频段,远离它的是高频段,即不同的频段到频域中心的距离不同,则使用环形滤波函数几何意义更明确一些。常用的环形滤波函数为:

$$H(u, v) = \begin{cases} a, r_1 \leq \sqrt{(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2} \leq r_2 \\ b, \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

其中  $u_0, v_0$  是频域中心坐标;  $u, v$  是频域上某点坐标;  $r_1, r_2$  分别是环形窗口的内外半径。通常  $a, b$  只取 1 或 0 值,当  $a=1$  时,  $b=0$ ; 当  $a=0$  时,  $b=1$ 。但是,我们感兴趣的频段并不一定是连续的,即可能有多个环形区域。因此当图象以灰度矩阵这种离散形式表示时,可给出一组圆形滤波函数:

$$H_i(u, v) = \begin{cases} a_i, i = \text{round}(\sqrt{(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2}) \\ b_i, \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $\text{round}()$  表示以四舍五入方式取整的函数,设  $i \in [0, 1, 2, \dots, n]$  表示从零频率分量到最高频段  $n$  中的某一感兴趣的频段。 $a_i$  为第  $i$  个频段的权值。为减少计算量,类似于常用的环形滤波函数,我们可简单地取  $a_i=1, b_i=0$ 。如果我们想提高圆形滤波函数的参数估计的精确程度,取  $a_i$  为任一实数,  $b_i=0$ 。由此可见,选择感兴趣的频段是参数估计中最简单的形式。

因此,我们先对  $64 \times 64$  大小的原始图象矩阵做离散傅立叶变换,得到  $64 \times 64$  大小的傅氏变换矩阵。然后将零频率分量平移到矩阵中心,即点 (33, 33), 则该点对应的频段就是零频率段。对于矩阵上的某一元素,设其相应的坐标为  $(u, v)$ , 其中  $u \in [1, 64], v \in [1, 64]$  有

$$i = \text{round}(\sqrt{(u - 33)^2 + (v - 33)^2}) \quad (3)$$

$i$  代表第  $i$  个频率段,不难得到  $i$  的最大值为

$$i_{\max} = \text{round}(\sqrt{(1 - 33)^2 + (1 - 33)^2}) = \text{round}(45.2548) = 45$$

这样共有 0 ~ 45, 即 46 个频率段。

### 3 遗传算法做频段选择和进行参数估计

遗传算法是 J. Holland 在 70 年代受生物进化

论思想启发提出的一种优化问题求解方法,在参数估计、模型识别等领域得到了广泛的应用。在应用遗传算法时,需要考虑几个关键问题:

(1) 如何将问题描述成串的形式,即问题编码。不同的串长和不同的码制对问题求解的精度和遗传算法的收敛时间会有一些影响。

(2) 如何确定适应度函数,它需要研究者结合具体问题构造出能对解的性能进行评价的函数。

(3) 确定遗传算法本身的参数,主要是指种群数目,交叉概率和变异概率。下面,我们将遗传算法用于频段选择和参数估计中。

#### 3.1 染色体的表示

本文将用二进制数 0 和 1 组成的串来表示染色体。当做频段选择时,染色体的长度取 46 位,代表 46 个频段。如果选中某感兴趣频段,则染色体中相应的二进制数为 1, 否则为 0。由此可见,选择得到的频段个数是不确定的。当做参数估计时,我们用长度为 7 位二进制数表示一个参数,即该参数可取 0 到 127 之间的一个整数,那么参数估计的精度是  $1/128 = 0.0078125$ , 即可精确到百分之一以内。这样染色体的长度取  $46 \times 7 = 322$  位,表示 46 个参数。实验表明,用前者进行问题编码,计算量相对较小;而用后者进行问题编码,计算量相对较大。

#### 3.2 染色体的适应度

选择合适的适应度函数是十分重要的,它是衡量特征可分性的标准。如引言中所述,我们选择类内类间距离判据来表示特征的可分性大小。常用的距离判据有  $J_1 = \frac{\text{tr}S_b}{\text{tr}S_w}, J_2 = \text{tr}(S_w^{-1}S_b), J_3 = \frac{|S_w + S_b|}{|S_w|}$  等。

其中  $S_b, S_w$  分别表示类内散布矩阵和类间散布矩阵。当  $S_w$  为奇异矩阵时,  $J_2$  和  $J_3$  判据就不合适。使用奇异值特征向量来计算  $S_w$ , 往往  $S_w$  为奇异矩阵。因此,我们使用  $J_1$  判据来表示可分性大小。求取染色体适应度的具体算法如下:(1) 根据染色体选择的频段,或根据染色体对应的参数,对原始图象矩阵做频域上的带通滤波,得到一个相同大小的新的灰度图象矩阵。(2) 提取新矩阵的奇异值特征向量,并用  $J_1$  判据给出奇异值特征的可分性大小,即染色体的适应度。

#### 3.3 遗传算法的具体实施

我们基本上采用经典的遗传算法<sup>[5]</sup>,并做一些

改进。经典遗传算法在换代时是将原有种群中所有成员全部删除,用新成员取而代之。这样一代中有较高适应度的个体不能保留下来,容易出现进化振荡现象。我们可以在每次换代时仅仅删除原有种群中适应度最低的部分个体,并重新繁殖出同样数目的新个体填充空缺。整个种群就会表现出不断进化的趋势,不会发生振荡。这样遗传算法可以收敛到解空间的某一点,达到全局收敛。本文采用的收敛条件为平均适应度值占最大适应度值的百分比大于某个阈值,这里阈值取为 95%。对于频段特征的选择或参数估计而言,做上述改进就可以使算法收敛,获得较优解,也就是说得到对模式分类起较大作用的频段或者得到圆形滤波函数的参数。

## 4 实验结果

在实验中,我们从南京理工大学模式识别与人工智能实验室的人脸图象库 NJUST-FDB603 中抽取了 18 个人的脸部图象。在建立人脸图象库时,我们让每个人坐在固定的位置上,摄像机与人脸的相对位置和光照条件略有变动,脸部表情和姿态等有较大变化。每人拍 12 次,得到大小为  $64 \times 64$ , 256 级灰度的图象,这样共有  $18 \times 12 = 216$  个样本。图 1 给出了其中一个人的样本图象集。

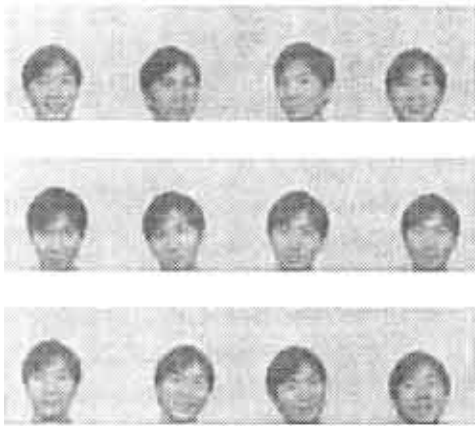


图 1

一般在应用遗传算法时,种群数目取 30 到 160 之间比较合适,交叉概率取 0.25 到 0.75,变异概率取 0.01 到 0.2。在实验中,我们取种群数目为 80 个,每次更新替换适应度值最小的 60 个染色体,交叉概率为 0.5,变异概率为 0.1,当进化到平均适应度值占最大适应度值的百分比大于阈值 0.95 时为止。为

比较实验结果,我们取所有 18 类样本作为一个样本集,每类的前 4 个样本作为训练样本,所有样本都作为测试样本。对于频段选择,进化到第 26 代时收敛;对于参数估计,进化到第 23 代时收敛。我们用最近邻分类器来对奇异值特征向量进行分类,因为它是最常用的分类器之一,通常分类效果较好。表 1(见下页)给出了部分实验结果。(将频段对应的参数表示成 0 到 1 之间的小数)。我们采用文献[2]中的方法,即对人脸图象的奇异值特征作最佳鉴别变换后用最近邻分类器进行分类判别。在奔腾 166 微机上,用 Matlab 语言编程,并使用本文的样本集,计算耗时为 11 分钟左右,识别率为 81.2%。

下面,我们将对样本集中的 2 幅人脸图象,选择不同的方法做带通滤波预处理。图 2 从左到右分别显示的是原始图象,做频段选择后得到的图象,做参数估计后得到的图象。(为了比较清楚地显示图象,我们对带通滤波预处理后的图象灰度都线性拉伸到整个灰度级 0 ~ 255)。



图 2

由图 2 可见,我们对人脸图象所做的带通滤波处理增强的是图象的分类信息,而不是描述信息。图 3 显示了根据选择的频段得到的脉冲信号,和根据参数估计得到的带通滤波曲线。

## 5 结束语

代数特征是图象的本质特征,尽管它的物理意义并不明显直观,但是它对模式分类起着重要的作用。在以前的工作中,很少有针对代数特征去做图象的预处理,而是直接对原始图象矩阵做各种代数变化和分解,来提取代数特征。我们的实验表明,对原始图象做带通滤波预处理,可以提高奇异值特征的分类能力。我们的算法同样适用于其它的代数特征。例如最佳鉴别变换特征,我们仍然可用判据给出它的可分性大小,即染色体的适应度,从而挑选出有效的频段或者进行参数估计,提高最佳鉴别变换特征的分类能力。因此,我们认为从模式的分类角度出发,对图象做合适的预处理,可以提高代数特征的分

类性能。我们认为可以进一步研究其它更好的预处理方法,例如用小波变换对感兴趣的频段进行细化,能否增强代数特征的分类性能。

表 1

选择的频段	1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0																																													
频段对应的参数(从 0 到 45 个频段依次存放)	0.882 8	0.156 3	0.421 9	0.617 2	0.062 5	0.562 5	0.671 9	0.515 6	0.343 8	0.148 4	0.578 1	0.492 2	0.367 2	0.515 6	0.656 3	0.125 0	0.843 8	0.304 7	0.585 9	0.664 1	0.710 9	0.164 1	0.632 8	0.492 2	0.453 1	0.484 4	0.625 0	0.304 7	0.187 5	0.414 1	0.578 1	0.578 1	0.437 5	0.664 1	0.375 0	0.210 9	0.585 9	0.179 7	0.960 9	0.414 1	0.453 1	0.679 7	0.125 0	0.187 5	0.812 5	0.351 6
	原始图象													3.719 7																																
	频段选择后得到的图象													6.854 4																																
	参数估计后得到的图象													8.079 2																																
识别率	原始图象													78.24%																																
	频段选择后得到的图象													87.04%																																
	参数估计后得到的图象													92.13%																																
计算量(小时)	频段选择后得到的图象													14.2																																
	参数估计后得到的图象													17.3																																

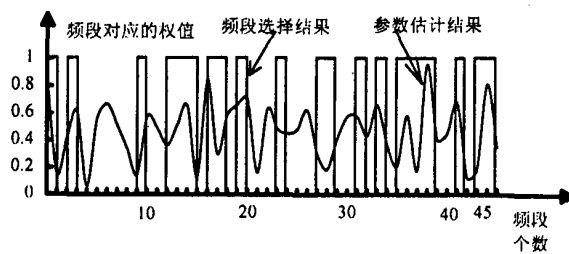


图 3

参 考 文 献

- 1 Rama Chellappa, et al. Human and machine recognition of faces: a survey. Proc. IEEE, 1995, 83(5): 705~740.
- 2 Hong Z Q. Algebraic feature extraction of image for recognition. Pattern Recognition, 1991(2): 211~219.
- 3 Asnok Samal, et al. Automatic recognition and analysis of human faces and facial expression; a survey. Pattern Recognition, 1992, 25(1): 66~77.

- 4 钟玉琢等著. 机器人视觉技术. 北京:国防工业出版社, 1994.
- 5 陈国良等. 遗传算法及其应用. 北京:人民邮电出版社, 1996.



**金 忠** 男,1961 年生,南京理工大学数学系副教授,计算机系模式识别与智能控制专业博士研究生,研究方向为图象处理,模式识别等。



**荆晓远** 男,1971 年生,南京理工大学计算机系模式识别与智能控制专业博士研究生,研究方向为图象处理,模式识别,神经网络,信息融合等。



**杨静宇** 男,1941 年生,南京理工大学信息学院院长、教授、博士生导师,目前主要研究方向为图象处理,模式识别,计算机视觉,智能机器人等。已出版著作 8 部,发表论文 100 多篇,获省部级以上科技奖 11 项。

## Preprocessing Images Based on Band-pass Filtering and Genetic Algorithm and Face Recognition

Jing Xiaoyuan , Jin Zhong , Yang Jingyu

(Department of Computer Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

**Abstract** In this paper, in order to enhance the classification information of an image, we use band-pass filtering to preprocess face images, improve the sorting performance of singular value (SV) feature. We give a group of circular filter functions, use genetic algorithm to select the frequency bands of larger divisibility value and to estimate the parameters of circular filter functions, and design the expression of chromosome and the solution of fitness. Experiments prove that by selecting the frequency bands the sort results of SV features can be improved apparently, and by estimating the parameters it can be improved much more apparently and computation complexity is relatively larger. Our method can also be adapted to the other algebraic features.

**Keywords** Face recognition, Singular value feature, Band-pass filtering, Genetic algorithm

### 计算机工程与应用

● **简介:**本刊由华北计算技术研究所主办,创刊于1964年,属中国计算机学会会刊、中国电子学会一级会刊、计算机工程与应用学会学报、计算机中文核心期刊、中国科学论文统计用刊。是一本集学术与应用为一体的有较高权威性的计算机科技刊物。

● **主要栏目:**博士论坛、数据库、网络与通信、研究探讨、开发设计、工程应用等。

● **读者范围:**科研院所;大专院校;计算机工程项目规划、设计、实施人员;计算机应用人员。

● **订阅办法:**本刊199年为月刊,大16开,每期正文128页,定价12.5元,全年150元,邮发代号为82—605,每月9日出版,全国各地邮局均可订阅。

联系地址:北京市619信箱26分箱

邮编:100083

电话:(010)62323668

### 欢迎订阅《通信学报》

《通信学报》是中国通信学会主办,反映我国通信科学水平,交流国内外通信科技新成果,促进学术进步和人才成长,探索新理论,新技术的学术性刊物。主要栏目有学术论文、技术报告、综述、短文、学术通信、研究简报、新技术展望等。

在无线电电子学、电信技术类中文核心期刊中,名列第三位。

邮发代号:2-676	主办单位:中国通信学会
国外代号:M395	出版:人民邮电出版社
定价:15.00元/期;180.00元/年	编辑:《通信学报》编辑部
电话:(010)67129323 67129324(传真)	地址:北京市崇文区夕照寺街14号
电子邮件:pptphxb@public.bta.net.cn	邮编:100061