

基于模糊隶属度的人脸图像年龄估计^①

张天刚, 康苏明, 张景安

(山西大同大学 数学与计算机科学学院, 大同 0370099)

摘要: 由于人脸面貌特征与年龄存在着较大的不确定性, 提出了基于模糊隶属度的人脸图像年龄估计. 用对光照、尺度变化具有很强鲁棒性的 Gabor 小波变换提取人脸特征, 为了避免维数灾难, 降低后续计算量, 利用主成份分析方法对提取到的特征进行降维, 细致推导了适用于人脸图像年龄估计的模糊函数, 根据最大隶属度原则, 来估计人脸的年龄. 在 FG-NET 人脸库及自建的 FAID 人脸库中进行了实验, 取得了 94% 的最高识别率.

关键词: Gabor 小波变换; 特征提取; 模糊隶属度; 年龄估计

Age Estimation of Face Image Based on Fuzzy Membership Degrees

ZHANG Tian-Gang, KANG Su-Ming, ZHANG Jing-An

(School of Mathematics and Computer Science, Shanxi Datong University, Datong 037009, China)

Abstract: Because of the greater uncertainty exists in both face features and age, a novel method based on fuzzy membership degrees for age estimation of face image is proposed. Face features are extracted by Gabor wavelet transform which are robust to the illumination change and scale variations. In order to avoid dimensions disaster and reduce the follow-up calculation, the dimensions of the extracted features are reduced by means of principal component analysis. The fuzzy function is appropriate for age estimation of face image was derived rigorous. The principle of maximum membership degree is used to age estimation, the experiments were conducted on the FG-NET face database and own FAID face database, the highest recognition rate of 94% was achieved.

Key words: gabor wavelet transform; features extraction; fuzzy membership degrees; age estimation

在模式识别领域中, 基于人脸图像的年龄估计具有重要的理论研究、实用价值, 但至今只有较少的工作. 原因: 其一可能是由于年龄数据难以收集导致的^[1]; 其二可能是由于年龄与人脸面貌特征的不确定性所致.

在年龄估计的研究中, Lanitis 的工作开创性极强, 为后续的研究提供了强有力的经验指导, 其用二次回归函数来表达人脸图像与年龄间的关系, 并讨论了四种具体的不同年龄函数^[2]; Yun 等^[3]人为了解决复杂背景对人脸图像的影响, 提出了由一组线性回归函数来建立流形数据, 用于人脸图像年龄估计中; 余庆等^[4]对 NMF(Non-negative Matrix Factorization)算法进行改进, 并将其用于人年年龄估计中; 樊莉静等^[5]采用局域二值模式提取人脸纹理特征, 用 SVM 回归训练取得年龄函数, 获得年龄与人脸纹理的对应关系; Sung 等^[6]提取人

脸全局及局部特征后, 用 SVM 构建了多级分类器进行年龄估计, 取得的成果优于先前使用的方法.

现实中, 由于生活水平、地理环境、病症等因素的不同, 使得相同年龄的人脸具有明显的差异性, 或特征相近的人脸其年龄差距却较大, 因而导致根据人脸面貌特征无论视觉直观去断定一个人的年龄、还是利用计算机去估计一幅脸像的年龄, 都存在着较大的不确定性, 故本文提出了基于模糊隶属度的人脸图像年龄估计, 在 FG-NET 人脸库及自建的 FAID 人脸库中进行了实验, 取得了良好的效果.

1 人脸特征提取

在特征提取方面, Gabor 小波变换比其它方法具有优势: 一、其处理的数据量偏少, 能满足系统实时性要

^① 基金项目:山西大同大学科研项目(2012K8)

收稿时间:2012-09-13;收到修改稿时间:2012-10-16

求;二、Gabor 变换对光照和尺度变化不敏感,能容忍一定程度的图像旋转和变形;三、具有良好的空间局部性和方向选择性,能精确地提取图像区域内多个方向的结构特征,具有较高的鲁棒性.故用二维 Gabor 小波变换提取人脸内部特征.

二维 Gabor 小波核函数为:

$$\psi_{u,v}(z) = \frac{\|K_{u,v}\|^2}{\sigma^2} e^{\frac{\|K_{u,v}\|^2 \|z\|^2}{2\sigma^2}} [e^{iK_{u,v}z} - e^{-\frac{\sigma^2}{2}}] \quad (1)$$

式中: u 和 v 为 Gabor 核的方向和尺度; $z=(x,y)$ 为图像中给定位置的坐标;绝对值为模操作;波向量 $K_{u,v}$ 为滤波器的中心频率:

$$K_{u,v} = K_v e^{i\phi_u} = \begin{pmatrix} K_v \cos \phi_u \\ K_v \sin \phi_u \end{pmatrix}$$

其中: $K_v = K_{max}/f^v$, $\phi_u = \pi u/8$, f 是限定频域中核函数距离的间隔因子,通常取 $\sqrt{2}$, K_{max} 为最大频率,通常取 $\pi/2$, ϕ_u 为滤波器的方向选择性,通常取 8 个不同的方向($u=0,1,2,\dots,7$)和 5 个不同的尺度($v=0,1,2,3,4$);参数 σ 通常取 2π ; $\frac{\|K_{u,v}\|^2}{2\sigma^2}$ 用来补偿图像中由频率决

定的能量谱衰减;高斯包络函数 $e^{\frac{\|K_{u,v}\|^2 \|z\|^2}{2\sigma^2}}$ 用来约束平面波; $e^{iK_{u,v}z}$ 为复数平面波,实部是余弦波,虚部是正弦波;直流分量补偿 $e^{-\frac{\sigma^2}{2}}$ 用来消除图像的直流成份对 Gabor 小波变换的影响.

Gabor 小波特征提取是通过计算图像与每个 Gabor 小波核函数(共 40 个)的卷积来实现的,其公式为:

$$G = \psi_{u,v} * I(x, y) = \iint \psi_{u,v} I(x, y) dx dy \quad (2)$$

式中: $I(x,y)$ 为对应坐标图像的像素值.

首先将图像归一为两眼间距为 72,大小为 128×160 ,这样可去除头发、背景等干扰因素,获得人脸有效部分,其次利用 Gabor 小波变换提取人脸特征,由于采用 8 个不同的方向和 5 个不同的尺度,故截取后的整个图像区域向量的维数为 $128 \times 160 \times 5 \times 8=819200$,为了避免维数灾难、降低后续计算量,利用主成分分析(Principal Component Analysis, 简称 PCA)对上述特征向量进行降维,获得最佳人脸描述特征.

2 模糊隶属度描述

设论域 $U=\{\text{人脸图像}\}$, U 上的 s 个模糊子集 $A_0(0$ 岁人脸), $A_1(1$ 岁人脸), $A_2(2$ 岁人脸), \dots , $A_s(s$ 岁人脸)

构成标准人脸模型库 $\{A_0, A_1, A_2, \dots, A_s\}$, 每个模型 A_i 由 n 个特征值 $X=\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ (也是模糊集)来刻画,由此定义了一个广义模糊向量:

$$A_i = (A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, \dots, A_{in}) \quad i=0,1,2,\dots,s$$

每个标准模型 $A_i(i$ 岁人脸)对每一单因素 x_j ($j=1,2,\dots,n$)均服从正态分布(即 A_i 为正态模糊集)^[7].

$$A_{ij}(x_j) = \begin{cases} e^{-\frac{(x_j - \bar{x}_{ij})^2}{\delta_{ij}}} & |x_j - \bar{x}_{ij}| < \delta_{ij} \\ 0 & |x_j - \bar{x}_{ij}| \geq \delta_{ij} \end{cases} \quad (3)$$

即

$$A_{ij}(x_j) \approx \begin{cases} 1 - \left(\frac{x_j - \bar{x}_{ij}}{\delta_{ij}}\right)^2 & \bar{x}_{ij} - \delta_{ij} < x_j < \bar{x}_{ij} + \delta_{ij} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

式中: \bar{x}_{ij} 为统计平均值; δ_{ij} 为方差.

现有一待测人脸图像 I , 特征提取并降维后其有效人脸特征向量为: $X_I = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, 先计算待识别人脸 X_I 对标准模型的隶属度,即计算一个特定向量对广义模糊向量 $A_i(i=0,1,2,\dots,s)$ 的隶属度.

X_I 对 0 岁人脸 A_0 的隶属度为:

$$\begin{aligned} A_0(X_I) &= \bigwedge_{j=1}^n \{A_{0j}(x_j)\} \\ &= \wedge \{A_{01}(x_1), A_{02}(x_2), \dots, A_{0n}(x_n)\} \end{aligned} \quad (5)$$

完全类似,可求得 X_I 对 1 岁人脸 A_1 的隶属度 $A_1(X_I)$, \dots , X_I 对 s 岁人脸 A_s 的隶属度 $A_s(X_I)$.

按最大隶属原则,待测人脸图像的年龄为:

$$Age = \vee \{A_0(X_I), A_1(X_I), A_2(X_I), \dots, A_s(X_I)\} \quad (6)$$

即在 $A_0(X_I), A_1(X_I), A_2(X_I), \dots, A_s(X_I)$ 中,最大隶属度 $A_i(X_I)(i=0,1,2,\dots,s)$ 所对应的年龄值 i 为脸像的年龄测试值.

备注: \wedge 、 \vee 分别表示 inf 和 sup(取下、上边界),在有限个元素之间,它们表示 min 及 max(取最小、最大值).

3 实验与分析

3.1 人脸库的选择

目前公开的通用人脸年龄图像库很少,作者得到了塞浦路斯大学许可,首先在 FG-NET 人脸图像库中验证了本文方法在人脸图像年龄估计中的有效性.

FG-NET 人脸库中包含 82 个人共 1002 幅人脸图像,每个人有 6~18 幅,每幅图像标有准确的年龄、性别等信息,年龄范围在 0~69 岁,各年龄的样本数见表 1,部分图像如图 1.

表 1 FG-NET 人脸库中各年龄样本数

年龄	样本数	年龄	样本数	年龄	样本数	年龄	样本数
0	43	18	47	36	8	54	2
1	27	19	23	37	3	55	2
2	39	20	20	38	5	56	0
3	42	21	16	39	6	57	0
4	42	22	17	40	9	58	1
5	40	23	22	41	6	59	0
6	41	24	9	42	5	60	1
7	41	25	17	43	4	61	3
8	31	26	11	44	4	62	1
9	25	27	11	45	7	63	1
10	40	28	12	46	3	64	0
11	33	29	9	47	2	65	0
12	37	30	19	48	3	66	0
13	32	31	6	49	3	67	1
14	32	32	4	50	2	68	0
15	30	33	9	51	3	69	1
16	37	34	8	52	3		
17	28	35	11	53	2		



图 1 FG-NET 人脸库中部分图像示例

从表 1 中可看到, FG-NET 人脸库中年龄在 46~69 岁间的样本数少, 在该年龄段无法验证本文方法的有效性, 故又在自建的人脸年龄图像库(Face Age Image Database, 简称 FAID)中进行了实验. 通过数码采集和扫描相片两种方式获得 100 个人不同年龄时期的 800 幅正面人脸图像构成 FAID 人脸库, 年龄范围也为 0~69 岁, 部分图像如图 2.



图 2 FAID 人脸库中部分图像示例

3.2 年龄测试

首先将彩色图像转换为灰度图像, 方法采用文献 [8]中的最佳灰度转换, 公式为:

$$\text{Gray} = (9798R + 19235G + 3735B)/32768 \quad (7)$$

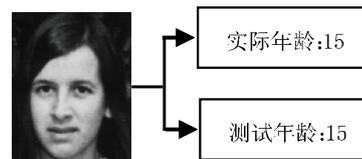
式中: R、G、B 分别代表图像中每一个像素点的红色分量、绿色分量和蓝色分量, Gray 表示转换后的灰度值.

3.2.1 FG-NET 人脸库实验结果

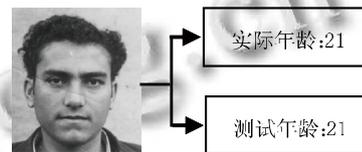
由上述知, FG-NET 人脸库中年龄在 46~69 岁间只有 34 幅人脸图像, 而且部分年龄的图像样本数为 0, 故选取 0~45 岁间的人脸图像进行了实验.

在实验中, 任选各年龄样本数的 1/2 作为学习样本, 提取 Gabor 特征并降维后, 可求得每一具体年龄的统计平均值 \bar{x}_{ij} 、方差 δ_{ij} . 对于库中样本数为奇数的年龄(例如测试年龄段中 37 岁只有 3 幅样本图像), 因需要求平均值, 故随机选取(样本数+1)/2 个样本进行学习.

实验结果如表 2、测试示例如图 3.



(a) 学习样本图像年龄估计

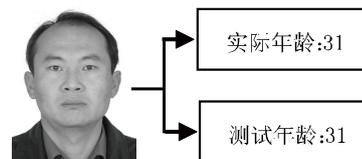


(b) 非学习样本图像年龄估计

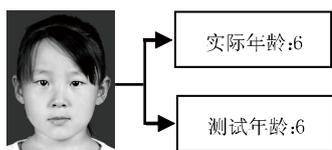
图 3 FG-NET 人脸库中测试示例

3.2.2 FAID 人脸库实验结果

为了更有效的说明本文方法在人脸图像年龄估计中的稳定性与有效性, 同样的方法, 在图像更为清晰的 FAID 人脸库进行了学习及测试. 实验结果如表 2、测试示例如图 4.



(a) 学习样本图像年龄估计



(b) 非学习样本图像年龄估计

图 4 FAID 人脸库中测试示例

表 2 FG-NET 人脸库与 FAID 人脸库年龄测试准确率对比

人脸库	特征维数				
	20	40	100	150	200
FG-NET	38.3%	55.1%	86.2%	90.0%	93.0%
FAID	41.2%	59.5%	89.7%	92.5%	94.3%

从实验结果看到,随着特征维数的增大,识别准确率在逐渐增大,但当维数达到 100 后准确率变化渐趋缓慢.对比表 2 中的数据可知,特征维数相同时,在 FAID 人脸库中的准确率高于 FG-NET 人脸库中的准确率,这是因为:FG-NET 人脸库中的图像是在非受限环境下采集的,噪声较大,其图像的尺度、人脸的姿态及光照等因素变化较大.

4 结语

本文将模糊隶属度引入到人脸图像的年龄估计中,算法简洁,运算量偏小,识别准确率达到 94%,略高于先前的研究.如文献[9]采用 Boosting RBF 神经网络在 FG-NET 人脸库中的年龄估计正确率达到了 86%,文献[4]采用改进的 NMF 方法在 FG-NET 人脸库中的最高识别率达到了 92%.

首先提取 Gabor 特征并降维,其次根据最大隶属

度原则在 FG-NET 人脸库及 FAID 人脸库中进行了测试,取得了良好的效果.但人脸图像的年龄估计目前仍处在理论研究阶段,推导更为有效的算法仍是下一步工作的重点.

参考文献

- 1 张宇,周志华.基于集成的年龄估计方法.自动化学报,2008,34(8):997-1000.
- 2 Lanitis A, Taylor CJ, Cootes T. Toward automatic simulation of aging effects on face image. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2002,24(4):442-455.
- 3 Fu Y, Xu Y, Huang TS. Estimating human age by manifold analysis of face pictures and regression on aging features. The IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME) 2007.
- 4 余庆,杜吉祥.基于一种改进 NMF 算法的人脸年龄估计方法.中国图象图形学报,2008,13(10):1865-1868.
- 5 樊莉静,张建明.基于局域二值模式与支持向量机的年龄估计.计算机工程与应用,2009,45(27):171-173.
- 6 Choi SE, Lee YJ, Lee SJ, et al. Age estimation using a hierarchical classifier based on global and local facial features. Pattern Recognition,2011,44:1262-1281.
- 7 梁保松,曹殿立.模糊数学及其应用.北京:科学出版社,2007.
- 8 陆丽.基于人脸图像的性别识别与年龄估计研究[博士学位论文].上海:上海交通大学,2010.
- 9 胡澜,夏利民.基于 Boosting RBF 神经网络的人脸年龄估计.计算机工程,2006,32(19):199-201.

(上接第 146 页)

- 60(4): 2979-2983.
- 4 Kannammal KE, Purusothaman T. Performance of improved directed diffusion protocol for sensor networks under different mobility models. Journal of Computer Science,2012,8(5): 694-700.
- 5 杨俊刚,史浩山,段爱媛,张龙妹,陆伟.无线传感器网络中基于互斥多路径的改良定向扩散协议.西北工业大学学报,2011,29(5):681-684.

- 6 李戈阳,曹阳,马曦,胡郢.基于遗传优化的无线传感器网络定向扩散协议.湖南大学学报(自然科学版),2009,36(9): 83-86.
- 7 邬春学,叶胤鹏,许博威.基于梯度阈值和时延的定向扩散路由协议.计算机工程,2012,38(7):77-79.
- 8 孙勇进,孙雨耕,陈宝江,房朝晖.无线传感器网络 1 点和 2 点连通可靠性研究.传感技术学报,2004,17(3):379-385.