

基于 ICA 系数稀疏表示的年龄自动估计

杜吉祥¹⁾ 翟传敏¹⁾ 尚丽²⁾

¹⁾(国立华侨大学计算机科学与技术系, 泉州 362021) ²⁾(苏州市职业大学电子信息工程系, 苏州 215104)

摘要 基于人脸图像的人类生理年龄自动估计是人脸识别领域的一个重要研究方向。对此,使用一种基于 WTA (winner-take-all) 竞争规则的独立分量分析方法来实现年龄估计任务。首先对人脸图像进行归一化处理,利用 PCA 方法进行白化预处理以进一步降低训练集合的维数;然后,使用 WTA-ICA 稀疏表示实现人脸图像的特征提取。最后在 FG-NET Aging database 人脸数据库的实验结果表明,该算法对基于人脸图像的年龄估计获得了较好的结果。

关键词 年龄估计 WTA-ICA 稀疏表示 人脸图像

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)10-2102-04

Age Automation Estimation Based on A ICA Coefficient Sparse Description Algorithm

DU Ji-xiang¹⁾, ZHAI Chuan-min¹⁾, SHANG Li²⁾

¹⁾(Department of Computer Science and Technology, Huaqiao University, Quanzhou 362021)

²⁾(Department of Electronical and Information Engineering, Suzhou Vocational University, Suzhou 215104)

Abstract Automatic age estimation based on facial images is an important research trend of face recognition. Here we proposed an independent component analysis method based on winner-take-all(WTA) rule to realize the age estimation task. Firstly, applying the PCA method to reduce the dimensions of original training data; then, using the proposed WTA-ICA coefficient sparse description method to extract the feature. Finally, the experimental results on the FG-NET Aging database indicate that the proposed method can estimate people's age based on the face images well.

Keywords age estimation, WTA-ICA, sparse description, facial image

1 引言

近年来,根据人脸图像进行年龄自动估计的方法成为人脸识别研究领域的一个热点,在动漫、人脸老化模拟、走失儿童身份识别,以及收集市场信息方面都有着广阔的应用前景。2002年, Hayashi 等人研究了基于皱纹纹理和人脸肤色分析的年龄和性别分类。通过对黄种人、黑种人和白种人的皱纹分析,

研究结果发现人脸上的皱纹位置与种族有关,而且基于皱纹纹理的人脸年龄估计的精度并不高^[1]。同年, Lanitis 提出了年龄函数的方法来进行年龄估计^[2]。2004年, Lanitis 等人又提出特定年龄估计方法和特定外观估计方法^[3]。清华大学在国内开展此项研究较早,同样使用了加权年龄函数方法进行年龄估计^[4-5]。2006年胡澜和夏利民等人研究了基于 Boosting RBF 神经网络的人脸年龄估计方法^[6],以及一种基于人工免疫识别系统的年龄估计方

基金项目:国家自然科学基金项目(60805021,60705007);福建省自然科学基金项目(A0740001,A0810010);中国博士后科学基金项目(20060390180,200801231)

收稿日期:2009-06-20;改回日期:2009-07-22

第一作者简介:杜吉祥(1977~),男,副教授,2005年于中国科学技术大学获模式识别与智能系统专业博士学位。主要研究方向为模式识别、人工神经网络。E-mail:jxdu77@gmail.com

法^[7]。南京大学的周志华课题组于 2006 年提出一种类似非监督的衰老模式子空间方法进行人脸年龄估计^[8]。2008 年,余庆和杜吉祥利用改进的非负矩阵分解算法在 FG-NET 人脸数据库上来进行年龄估计^[11]。

目前的人脸图像处理与识别方法多种多样,其中,基于人脸图像的年龄估计问题多采用年龄函数、神经网络、子空间投影等方法。本文采用独立分量分析(independent component analysis, ICA)子空间投影算法对高维人脸图像降维,然后在低维子空间中实现年龄估计。首先对人脸图像进行归一化处理,为减少计算复杂度,再利用 PCA 方法进行白化预处理以进一步降低训练集合的维数;然后,使用 WTA-ICA 稀疏表示实现人脸图像的特征提取。最后,在塞浦路斯大学的 FG-NET Aging database 人脸数据库图像进行验证。

2 人脸图像的 ICA 系数稀疏表示

独立分量分析(ICA)是一种基于信号的高阶统计特性的分析方法,可以有效去除图像像素之间的高阶统计特性,能更加全面地揭示图像的本质结构,在图像处理中被广泛应用。实际上,ICA 可以看作一种稀疏编码(SC)方法,因此,其对比函数的优化问题应该是解决最大化稀疏性的问题。目前以最大化稀疏性为目的的 ICA 方法多采用文献[9]提出的稀疏性度量函数作为判定准则,本文则使用文献[11]中提出的以 l^p 范数为稀疏性度量标准的 ICA 方法。在应用于自然图像数据时,这种以 l^p 范数为稀疏性度量准则的 ICA 方法可以在训练过程中产生一个基于 WTA(winner-take-all)竞争规则的学习机制,故称之为 WTA-ICA 方法。WTA-ICA 方法不需要优化高阶的非线性函数和密度估计,因而计算简单、且有较快的收敛速度^[10]。文献[10]中提出的基于 $l^p(1 \leq p \leq \infty)$ 范数的稀疏性度量标准如式(1)所示。

$$\text{Sparse}(\mathbf{u}) = -E \left\{ \left(\sum_i |u_i^p| \right)^{\frac{1}{p}} \right\} \quad (1)$$

根据式(1),当使用 l^p 范数作为稀疏性度量标准时,所构造的目标函数 $J(\mathbf{u})$ 的简化形式为

$$J(\mathbf{u}) = E \left\{ \lim_{p \rightarrow \infty} \left(\sum_j |u_j^p| \right)^{\frac{1}{p}} \right\} = E \left\{ \max_j |u_j| \right\} \quad (2)$$

这样,最大化式(2)就相当于解决最大化稀疏性的优化问题,式(2)的随机矢量 \mathbf{u}_j 就代表稀疏分量,而在 ICA 模型中, \mathbf{u}_j 即代表独立的源信号。为了便于计算,令 $|\mathbf{u}_j|^2 = (\mathbf{w}_j^T \mathbf{X})^2$,其中 \mathbf{W}_j 是 $n \times m$ 维分离矩阵 $\mathbf{W} = [\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_m]$ 的第 j 列, $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 是 n 维混合信号, \mathbf{u}_j 是 m 维矩阵 $\mathbf{U} = [\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_m]^T$ 中的第 j 行源信号。则式(2)可以被写为

$$J(\mathbf{W}) = E \left\{ \max_j [(\mathbf{w}_j^T \mathbf{X})^2] \right\} = \int \max_j [(\mathbf{w}_j^T \mathbf{X})^2] p(\mathbf{X}) d\mathbf{X} \quad (3)$$

因此,求解式(2)的最大优化问题就转化为求解使式(3)最大化的最优权值矩阵 \mathbf{W} 的问题。假如 \mathbf{w}_j 的方向是沿着多变元超高斯分布的尾部方向,则目标函数有最大值,所以目标应该是求解使(3)式最大化的最优 \mathbf{w}_j 。使用标准的自然梯度下降算法进行推导,则有:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \left(\frac{\partial Q_r}{\partial \mathbf{w}_j} \right) = 2(\mathbf{w}_c^T \mathbf{X})^2 \delta_{cj} (\mathbf{w}_j^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X} = 2\delta_{cj} (\mathbf{w}_c^T \mathbf{X}) \mathbf{X} \quad (4)$$

式中

$$\delta_{cj} = \begin{cases} 1 & c=j \\ 0 & c \neq j \end{cases}$$

$$Q = \sum_j (\mathbf{w}_j^T \mathbf{X})^{2r}$$

式(4)实际上也就是权值矩阵 \mathbf{W} 的更新规则。

在任何的梯度下降优化算法中,学习速率的选择是一个非常重要的问题。本文中,在权值矩阵 \mathbf{W} 被递增估计时,使用一个遗忘均值作为动态的学习速率来实现其更新过程。假设 \mathbf{x}_k 是第 k 个采样样本, $\bar{\mathbf{x}}$ 表示第 k 次迭代的样本均值,则有:

$$\bar{\mathbf{x}}^{(k)} = \alpha(k) \bar{\mathbf{x}}^{(k-1)} + \beta(k) \mathbf{x}_k \quad (5)$$

式中, $\alpha(k), \beta(k)$ 被称为遗忘权值。

WTA-ICA 算法则根据白化数据 $\mathbf{v}_i (i=1, 2, \dots, K)$ 来计算分离矩阵 \mathbf{W} 。这里 $\mathbf{W} = [\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ ($K \leq m$), K 是由预白化过程确定的主分量向量的数目。另外,根据权值矩阵的更新规则式(4)和遗忘均值定义式(5),则基于遗忘均值的权值矩阵 \mathbf{W} 的更新规则定义为

$$\mathbf{w}_j(k+1) = \alpha(k) \mathbf{w}_j(k) + \beta(k) \frac{\mathbf{w}_j(k)^T \mathbf{v}_i}{\|\mathbf{w}_j(k)\|} \mathbf{v}_i \quad (6)$$

式中, k 是当前的迭代次数; $\mathbf{w}_j(k)$ 是第 k 次迭代得

到的权值向量 w_j , 其下标 j 对应向量 $\frac{|w_j(k)^T v_k|}{\|w_j(k)\|}$ 中的最大值所对应的索引号; v_i 是当前使用的第 i 个白化样本。

针对人脸图像, 采用上述 WTA-ICA 算法来提取图像特征。令训练数据矩阵 \tilde{X}_{train} 的行向量表示图像像素值, 列向量表示不同的图像。则 $A = W_i^{-1}$ 视为基图像(列向量)的集合, 而 $B = W_i(\tilde{X}_{\text{train}})^T$ 的每一列为相应基图像的系数分量, 根据这些系数可以重构训练集合 \tilde{X}_{train} 中的每一幅图像。这种 WTA-ICA 表示方法使其输出 B 尽可能地是统计独立的。当使用 PCA 方法进行数据的预处理后, 并不是直接在 p 个图像像素空间上执行 WTA-ICA 算法, 而是在人脸图像的前 k 个 PCA 系数上执行 WTA-ICA 算法。此时, 训练图像的 WTA-ICA 描述即是矩阵 B 的列向量。

$$B = W_i R_k^T \quad (7)$$

式中, $R_k = X_{\text{train}} V_k$ 。对测试图像 X_{test} 而言, 其 WTA-ICA 描述为

$$B_{\text{test}} = W_i R_{\text{test}}^T \quad (8)$$

式中, $R_{\text{test}} = X_{\text{test}} V_k$ 。而测试集合的基图像则由 $A = W_i^{-1}$ 的列向量组成。

3 实验及结果分析

目前国际上还较少有公开的多年龄人脸数据库。本文采用塞浦路斯大学的 FG-NET Aging database 人脸图像库 82 人, 1 002 幅人脸图片 (<http://www.fgnet.rsunit.com>)。该数据库中每个人都有 6 ~ 18 幅人脸图像并附有该图像的准确年龄, 所有人年龄在 0 ~ 69 岁之间分布(如图 1 所示)。为防止头发和其他部分的干扰, 对图像首先进行尺寸归一化预处理, 截取人脸部分, 为部分消除光照影响, 进一步进行灰度直方图处理。

在使用改进 WTA-ICA 算法进行降维的同时, 也使用了经典的 PCA 方法对实验结果进行比较。年龄估计器则使用收敛速度快、预测性能好的径向基神经网络(RBFNN)来进行预测。在使用 WTA-ICA 算法提取人脸图像的特征之前, 为了进一步减少计算量, 对训练集合 X_{train} 进行了中心化和 PCA 降维处理。

采用 leave-one-person-out mode 来对径向基神经网络进行训练并测试, 即每次从 82 人中选出一个



图 1 数据库图像

Fig. 1 Images of FGNET

人作为测试数据, 剩下的 81 人作为训练数据, 依次循环, 让每一个人都做一次测试, 然后将测试数据与训练数据分别向选出的基图像上投影, 得到用于神经网络训练和测试的样本, 进行年龄估计。

为了便于比较, 首先进行经典 PCA 降维, 选取了 92%, 90%, 88%, 84% 4 个能量值, 得到相应维数并进行同样方式的测试, 图 2 和表 1 给出了从在 1 岁到 10 岁误差容许范围下的预测精度^[11]。再利用 WTA-ICA 方法, 先选取 95%, 90% 和 84% 的能量值进行 PCA 降维后, 再在各自选取的人脸图像 PCA 系数上进行 WTA-ICA 试验, 结果如图 2 和表 1 所示。

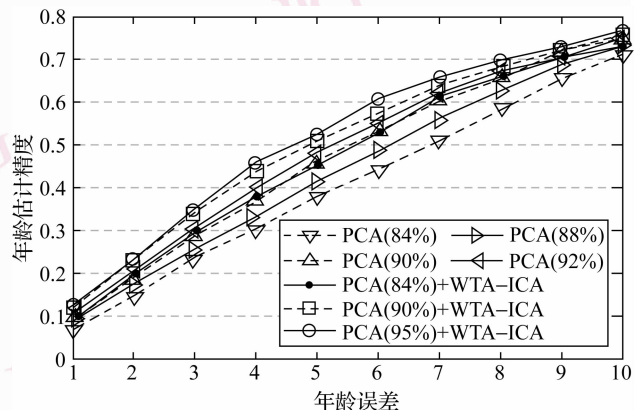


图 2 PCA 与 WTA-ICA 方法估计结果

Fig. 2 Results using PCA and WTA-ICA

从以上的结果可以看到, 在同样的维数情况下, WTA-ICA 算法相对于 PCA 方法取得了较为理想的结果。实验中, PCA95% + WTA-ICA 的结果最好, PCA84% + WTA-ICA 的结果与 PCA90% 的结果非常接近, PCA90% + WTA-ICA 的结果相对于 PCA90% 的

结果有明地提高。WTA-ICA 方法在 4~7 岁的年龄误差明显好于 PCA,而这个误差年龄段也正

是年龄估计应用中比较主要的年龄段,实用性较强。

表 1 PCA 与 WTA-ICA 估计结果
Tab.1 Results using PCA and WTA-ICA

年龄误差(岁)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WTA-ICA	PCA84%	0.088 10	0.190 42	0.295 51	0.377 11	0.448 76	0.527 90	0.613 68	0.658 90	0.705 41	0.729 21
	PCA90%	0.120 68	0.223 11	0.336 02	0.435 54	0.508 70	0.574 11	0.640 54	0.682 11	0.719 71	0.762 18
	PCA95%	0.120 86	0.230 20	0.348 91	0.458 71	0.526 9	0.608 83	0.659 31	0.696 7	0.731 73	0.767 63
PCA	84%	0.071 14	0.146 95	0.235 23	0.302 28	0.379 97	0.441 85	0.513 86	0.585 18	0.656 29	0.714 51
	88%	0.088 63	0.172 85	0.256 76	0.329 69	0.416 36	0.484 92	0.559 97	0.627 13	0.689 94	0.734 44
	90%	0.086 23	0.185 49	0.286 13	0.369 89	0.459 01	0.534 73	0.603 66	0.663 86	0.722 48	0.750 32
	92%	0.102 56	0.209 88	0.296 91	0.395 86	0.479 68	0.548 54	0.622 64	0.674 69	0.711 16	0.751 41

4 结 论

针对基于人脸图像的年龄自动估计这一重点和难点问题,使用一种基于 WAT 方案的 ICA 算法对原人脸图像进行非线性特征提取,并用 RBF 神经网络进行预测,实现了人脸图像的年龄自动估计,实验取得了较好的效果。在接下来的工作中将考虑优化选择 ICA 基图像来进一步提高年龄估计的精度。

参考文献 (References)

- Hayashi J, Yasumoto M, Ito H, *et al.* Age and gender estimation based on wrinkle texture and color of facial images[A]. In: Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'02) [C], Washington DC, USA, 2002, **1**: 405-408.
- Lanitis A, Taylor C J, Cootes T. Toward automatic simulation of aging effects on face images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, **24**(4): 442-455.
- Lanitis A, Draganova C, Christodoulou C. Comparing different classifiers for automatic age estimations [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics (Part B), 2004, **34**(1): 621-628.
- Wang Jun-yan, Sun Guang-da, Lin Xing-gang, *et al.* Synthesis of face image with age variations[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2006, **17**(12): 1510-1513. [王俊艳, 苏光大, 林行刚等. 用于人脸识别的多年龄人脸图像合成[J]. 光电子·激光, 2006, **17**(12): 1510-1513.]
- Wang Jun-yan, Sun Guang-da, Lin Xing-gang. Age estimation from facial images [J]. Journal of Tsinghua University (Science and

- Technology), 2007, **47**(4): 526-529. [王俊艳, 苏光大, 林行刚. 人脸图像年龄估计[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, **47**(4): 526-529.]
- Hu Lan, Xia Li-min. Age estimation of facial images based on boosting rbf neural network [J]. Computer Engineering, 2006, **32**(19): 199-201. [胡斓, 夏利民. 基于 Boosting RBF 神经网络的人脸年龄估计[J]. 计算机工程, 2006, **32**(19): 199-201.]
- Hu Lan, Xia Li-min. Age estimation from facial images based on artificial immune recognition system[J]. Computer Engineering and Applications, 2006, **46**(26): 186-188. [胡斓, 夏利民. 基于人工免疫识别系统的年龄估计[J]. 计算机工程与应用, 2006, **46**(26): 186-188.]
- Geng X, Zhou Z H, Zhang Y, *et al.* Learning from facial aging patterns for automatic age estimation[A]. In: Proceedings of the 14th ACM International Conference on Multimedia (ACMMM' 06) [C], Santa Barbara, CA, USA, 2006: 307-316.
- Karvanen J, Cichocki A. Measuring sparseness of noise signals[A]. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation (ICA2003) [C], Nara, Japan, 2003: 125-130.
- Zhang N, Weng J. Sparse representation from a winner-take-all neural network [A]. In: Proceedings of 16th International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2004) [C], Budapest, Hungary, 2004: 2209-2214.
- Yu Qing, Du Ji-xiang. Age estimation of facial images based on an improved non-negative matrix factorization algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, **13**(10): 1865-1868. [余庆, 杜吉祥. 基于一种改进 NMF 算法的人脸年龄估计方法[J]. 中国图象图形学报, 2008, **13**(10): 1865-1868.]