

基于 NMF 图像重构的人脸识别

周昌军^{1,2}, 张 强², 魏小鹏^{1,2}

(1. 大连理工大学机械工程学院, 大连 116024; 2. 大连大学辽宁省智能信息处理重点实验室, 大连 116622)

摘要: 由传统的人脸识别方法产生的人脸特征子空间通常是由人脸库中所有训练样本产生的一个通用子空间, 该空间更多地包含了所有人脸样本的共性特征, 而忽略了个性特征。该文提出一种基于 NMF 图像重构的方法, 以单个人的训练样本集获取其人脸特征子空间, 将识别图像向每一个特征子空间中进行映射及重构, 并以重构图像的误差作为判据实现人脸识别。在 ORL 标准人脸库进行的计算机仿真证实了该方法的有效性。

关键词: 非负矩阵分解; 人脸识别; 重构; 特征

NMF-based Image Reconstruction for Face Recognition

ZHOU Chang-jun¹, ZHANG Qiang², WEI Xiao-peng^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024;

2. Liaoning Key Lab of Intelligent Information Processing, Dalian University, Dalian 116622)

【Abstract】 Traditional face recognition methods obtain universal subspaces by using all trained images. The subspace mainly represents the commonness of human faces with few sights of single person's face. This paper presents a novel method named NMF-based image reconstruction for face recognition. It obtains the basis images by using each person's pictures respectively and the features which are employed to reconstruct the images by mapping the test images to the basis images. The minimum reconstruction error is adopted to finish the facial recognition. The computer simulation in ORL face database illustrates that the method is effective.

【Key words】 Non-negative Matrix Factorization(NMF); face recognition; reconstruction; feature

1 概述

在以往的子空间分析技术(如PCA^[1], ICA^[2])中, 人脸的识别是基于模板的全局信息来实现的, 然而在人脸识别的很多应用中, 基于局部特征具有较全局更好的性能, 如人脸呈现局部变形时、光照发生显著改变。基于以上考虑, 文献[3]提出了一种非负矩阵分解(Non-negative Matrix Factorization, NMF)算法来学习脸部的分量或部件(parts), 该算法通过对矩阵引入非负性约束, 即仅允许图像由基图像或部件的加法来构成, 不允许减法或加减法组合的出现, 来保证基于部件的感知行为。文献[4]以此算法实现了人脸识别, 并将之与PCA方法进行了比较, 得出了较好的结果。近年来, 基于NMF的人脸识别方法有了新进展: 文献[5-6]提出了一种新颖的子空间方法——局部非负矩阵分解(Local Non-negative Matrix Factorization, LNMF), 该方法更完整地实现了人脸库局部分量或部件的提取, 并在人脸局部遮挡实验中取得了较好的成果; 文献[7]通过将Fisher约束引入NMF中, 提出了称为FNMF的人脸局部特征提取方法, 提高了基于NMF人脸识别的识别率; 文献[8]采用可行方向算法与模拟退火结合的方法对NMF特征提取方法进行了改进, 在人脸重建的应用中获得了更好的性能; 文献[9]将NMF算法与RBF神经网络组合来实现人脸识别, 并将之与PCA与RBF神经网络的组合算法进行了比较, 得到了较好的实验结果。

NMF 通过将非负性约束引入矩阵中, 来保证其学习到的表示是基于部件的, 而不是基于全局分量的。由于人脸灰度图像数据的非负性, 基于 NMF 的人脸识别方法越来越受到重视。

2 基于 NMF 的人脸重构

在子空间统计学习中, NMF可以写成如下的矩阵分解的形式^[3]:

$$V \approx WH \quad (1)$$

其中, V 是 $n \times m$ 的矩阵。在人脸数据集中, $V = [v_1, v_2, \dots, v_m]$ 代表由 m 个具有 n 维非负像素值组成的图像数据集, 其中, $v_j \in R^n$ 且满足 $\sum_{i=1}^n v_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, m; v_{ij} \geq 0$ 。矩阵因子 W 和 H 的维数分别是 $n \times r$ 和 $r \times m$ 。其中, W 的 r 列为基图像, H 的每一列称为编码, 与 V 中一张人脸一一对应, 一张人脸图像则是由基图像的线性组合构成。

当NMF采用 V 的散度来近似 $Y=WH$ 时, NMF算法等价于求解如下优化问题^[10]:

$$\min_{W, H} D(V \| WH) = \min_{W, H} D(V \| Y) = \sum_{i,j} (v_{ij} \log_n \frac{v_{ij}}{y_{ij}} - v_{ij} + y_{ij}) \quad (2)$$

其中, W 和 H 满足关系式 $\sum_{i=1}^n w_{ij} = 1, \forall j, W, H \geq 0$ 。

通过乘法形式的修正式^[9], 可以得到上述优化问题的局

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划基金资助项目(NCET-06-0298); 辽宁省高等学校优秀人才支持计划基金资助项目(RC-05-07, 2006R06); 辽宁省教育厅科学研究计划基金资助项目(05L020); 大连市科学技术计划基金资助项目(2005A10GX106); 大连大学智能信息处理重点实验室开放课题基金资助项目(2005-9)

作者简介: 周昌军(1977-), 男, 博士研究生, 主研方向: 图像处理, 模式识别; 张 强, 教授、博士; 魏小鹏, 教授、博士、博士生导师

收稿日期: 2007-03-17 **E-mail:** zhou-chang231@163.com

部最优解，从而获得NMF基图像，如图1所示。其迭代公式如下^[3]：

$$W_{i\alpha} = W_{i\alpha} \sum_{\mu} \frac{V_{i\mu}}{(WH)_{i\mu}} H_{\alpha\mu} \quad (3)$$

$$W_{i\alpha} = \frac{W_{i\alpha}}{\sum_j W_{j\alpha}} \quad (4)$$

$$H_{\alpha\mu} = H_{\alpha\mu} \sum_i \frac{V_{i\mu}}{W_{i\mu}} \quad (5)$$

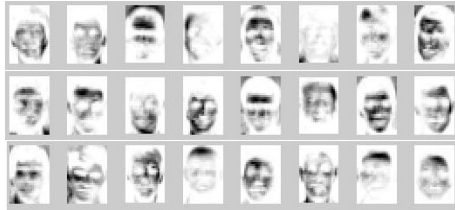


图1 ORL人脸库的NMF人脸基图像

通过上述步骤获取了NMF基图像作为特征子空间 W 之后，采用式(6)将人脸图像 X 映射到该子空间以提取人脸的特征。通过式(7)即可实现人脸图像的重构，其中 Y 为重构人脸图像。

$$H = W^{-1}X \quad (6)$$

$$Y = WH \quad (7)$$

3 基于NMF图像重构的人脸识别

以往基于NMF的人脸识别方法都是由人脸库中所有训练样本产生的一个通用特征子空间，然后将测试人脸图像映射到此特征子空间，提取图像特征。根据此图像特征与训练样本映射到该空间图像特征之间的距离，按最近邻法则实现人脸的识别。但是，这种方法提取出的人脸基图像更多地包含所有人脸样本共性的特征，忽略了人脸的个性特征，因此，本文提出一种基于NMF图像重构的人脸识别新方法，将同一个人的训练样本图像用于产生其个人图像的特征子空间，并采用图像重构误差作为判据，实现人脸识别，图2为本方法的系统流程。

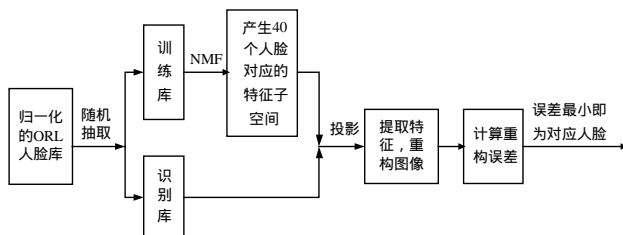


图2 基于NMF图像重构的人脸识别系统流程

对图像进行归一化的预处理后，将数据库中所有人脸图像以 $n \times m$ 的矩阵形式存储，随机取人脸库中每个人的 s (实验中， s 取值为5)张图像作为训练图像，剩余图像作为识别图像。由单个人的 s 张图像形成 V ，然后用NMF算法求出 W 及 H ，得出其特征子空间，进而求出每个人的人脸图像特征子空间，图3为单个人脸所对应的特征脸图像。

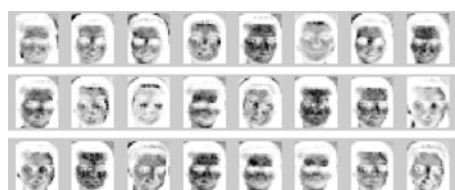


图3 ORL人脸库中单个人的NMF人脸基图像

完成特征子空间的学习后，将待识别图像 X 以式(6)向每一个特征子空间 $W\{j\}$ 进行映射，实现特征抽取，将抽取出来的特征 $H\{j\}$ 以通过(7)与当前的特征子空间 $W\{j\}$ 进行图像重构，重构出新的人脸图像 $Y\{j\}$ (如图4所示，其中，基图像数量从左到右为16, 25, 36, 49)，并以式(8)计算重构后的图像误差 ε_j ， ε_j 最小的特征子空间所对应的图像中的人即为识别图像所对应的类。

$$\varepsilon_j = \frac{\|Y\{j\} - X\|}{\|X\|}, j = 1, 2, \dots, c \quad (8)$$

其中， $X \in \{ClassP | \min \varepsilon_j, j \in ClassP\}$ 。

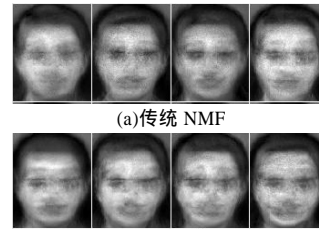


图4 人脸重构图像

4 实验

实验是在ORL标准人脸库(<http://www.cam.ac.uk>)上进行的。ORL库包含40人的400幅人脸图像，每人10幅图像，有姿态、角度、尺度和眼镜等变化，ORL库中的部分图像见图5。



图5 ORL人脸库部分人脸图像

随机抽取每人的5个样本进行训练，相应剩余的5个样本进行测试。分别采用NMF, LNMF, FNMF及本文的方法，取基图像数量为16, 25, 36, 49, 64, 81，进行人脸识别仿真实验，并将实验重复50次，取其识别率的平均值作为最终的实验结果，其中，NMF, LNMF, FNMF的人脸识别方法以式(9)的最近邻法则作为距离判据：

$$L1: D_{L1}(x, y) = \sum_{k=1}^d |x_k - y_k| \quad (9)$$

仿真实验计算环境为：Matlab7.1, 3.0 GHz Intel Pentium 4, 1 GB内存。实验结果如图6所示。

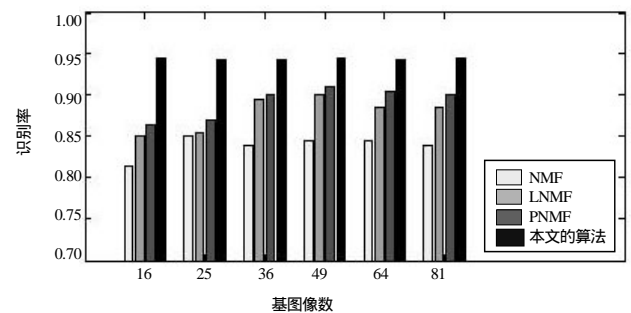


图6 基图像数与识别率的关系

图6的实验数据表明，本文的方法在识别率上比以NMF方法及其改进方法有了一定的提高，不过由于训练时需要为每一类图像都提取特征子空间，识别时需要为图像作重构，在运行时间及存储量上比以往的方法有所增加。

将本文的方法与 PCA 方法、NMF 及其改进方法在 ORL 数据库中进行人脸识别实验，比较结果如表 1 所示。

表 1 不同方法对 ORL 人脸数据库的识别率比较

识别方法	识别率/(%)
PCA ^[11]	90.50
FLD ^[11]	91.00
ICA ^[11]	89.59
EFLD ^[11]	93.00
NMF ^[7]	85.00
LNMf ^[7]	90.00
FNMF ^[7]	91.00
PCA+FLD ^[9]	94.06
PCA+RBF ^[9]	94.44
NMF+RBF ^[9]	93.58
本文方法	94.75

实验数据表明，与当前国内外一些基于特征子空间的人脸识别方法相比，本文的方法在识别率上有较大的提高，和其他人脸识别的混合方法相比也有一定的优势，证实了本方法的有效性。

5 结束语

NMF 是一种专门针对非负数据分析的矩阵分解方法，其基本思想是对非负数据进行线性非负分解，由于人脸图像数据的非负性，在人脸识别中采用非负矩阵分解成了一种新兴的研究方法。因此，本文提出了一种基于 NMF 图像重构的方法，以单个人的训练样本集获取其人脸特征子空间，然后将识别图像向每一个特征子空间中进行映射以提取特征，并以此特征进行人脸图像重构，以重构图像的误差作为判据，实现人脸识别。为了证实该方法的有效性，在 ORL 标准人脸库进行了计算机仿真，并获得了较好的实验结果。

参考文献

[1] Turk M A, Pentland A P. Eigenfaces for Recognition[J]. Journal of Cognitive Neuroscience, 1991, 3(1): 71-86.

(上接第 201 页)

算次数， $x(+y)$ 表示需要 x 次双线性对运算， y 次双线性对预计算。从表 1 可以看出，笔者的方案在签解密阶段只进行了 2 次双线性对运算，比目前最好的 Chen 和 Malone-Lee 的方案^[7]少 1 次。

表 1 本文方案与已有的基于身份的签密方案的性能比较

方案	签密		解签密		密文长度
	mul	pair	mul	pair	
文献[6]	2	0(+2)	1	4	$ G_i + m + q $
文献[7]	3	0(+1)	1	3	$ 2G_i + m + ID $
本文方案	3	0(+2)	0	2(+1)	$ 2G_i + m + q $

6 结束语

本文提出了一个基于身份的公开可验证加密签名方案。该方案具有公开可验证性、保密性、不可伪造性、不可否认性与前向安全等安全特性。与已有的一些典型的基于身份的签密方案相比，笔者的方案效率更高。

参考文献

[1] Zheng Y. Digital Signcryption or How to Achieve Cost(Signature& Encryption) << Cost (Signature) + Cost (Encryption)[C]//Advances in Cryptology-CRYPTO'97, Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer-Verlag, 1997: 165-179.

[2] Shamir A. Identity-based Cryptosystems and Signature Schemes[C]//Advances in Cryptology-CRYPTO'84, Lecture Notes in Computer

[2] Pierre C. Independent Component Analysis, a New Concept?[J]. Signal Processing, 1994, 36(3): 287-314.

[3] Lee D D, Seung H S. Learning the Parts of Objects by Non-negative Matrix Factorization[J]. Nature, 1999, 401(10): 788-791.

[4] David G, Jordi V. Non-negative Matrix Factorization for Face Recognition[C]//Proc. of the 5th Catalanian Conference on AI: Topics in Artificial Intelligence. Spain: [s. n.], 2002.

[5] Li S Z, Hou X W, Zhang H J, et al. Learning Spatially Localized, Part-based Representation[C]//Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. Hawaii: [s. n.], 2001.

[6] Feng T, Li S Z, Shum H, et al. Local Non-negative Matrix Factorization as a Visual Representation[C]//Proc. of the 2nd International Conference on Development and Learning. Cambridge, USA: [s. n.], 2002.

[7] Wang Y, Jia Y D, Hu C B, et al. Fisher Non-negative Matrix Factorization for Learning Local Features[C]//Proc. of Asian Conference on Computer Vision. Korea: [s. n.], 2004.

[8] 陈卫刚, 戚飞虎. 可行方向算法与模拟退火结合的 NMF 特征提取方法[J]. 电子学报, 2003, 31(12A): 2190-2193.

[9] Zhou W, Pu X R, Z M. Parts-based Holistic Face Recognition with RBF Neural Networks[C]//Proc. of ISNN'06. Berlin: Springer, 2006.

[10] Lee D D, Seung H S. Algorithms for Non-negative Matrix Factorization[C]//Proc. of Advances in Neural Information Processing. [S. l.]: MIT Press, 2001.

[11] An G Y, Ruan Q Q. Novel Mathematical Model for Enhanced Fisher's Linear Discriminant and Its Application to Face Recognition[C]//Proc. of the 18th International Conference on Pattern Recognition. Hong Kong, China: [s. n.], 2006.

Science. Berlin: Springer-Verlag, 1984: 47-53.

[3] Boneh D, Franklin M. Identity-based Encryption from the Weil Pairing[C]//Advances in Cryptology-CRYPTO'2001, Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer-Verlag, 2001: 213-229.

[4] Malone-Lee J. Identity Based Signcryption[R]. Cryptology ePrint Archive, Report: 2002/098, IACR, 2002.

[5] Libert B, Quisquater J. A New Identity Based Signcryption Schemes from Pairings[C]//Proceedings of the IEEE Information Theory Workshop. Paris, France: [s. n.], 2003: 155-158.

[6] Chow S S M, Yiu S M, Hui L C K, et al. Efficient Forward and Provably Secure ID-based Signcryption Scheme with Public Verifiability and Public Ciphertext Authenticity[C]//Advances in Information Security and Cryptology-ICISC'03, Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer-Verlag, 2004: 352-369.

[7] Chen L, Malone-Lee J. Improved Identity-based Signcryption[C]//Advances in Public Key Cryptography-PKC2005, Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 362-379.

[8] Hess F. Efficient Identity Based Signature Schemes Based on Pairings[C]//Proceedings of the 9th Annual International Workshop on Selected Areas in Cryptography. Berlin: Springer-Verlag, 2003: 310-324.

[9] 李发根, 胡子濮, 李刚. 一个高效的基于身份的签密方案[J]. 计算机学报, 2006, 29(9): 1641-1647.

