

一种新的掌纹特征提取方法研究

吴旭宾, 汪同庆, 李宏友, 郭春华, 马锦英

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘 要: 提出一种基于 Gabor 小波和改进的广义 K-L 变换的掌纹识别方法。该方法首先对测试样本的掌纹 ROI 灰度图像进行 Gabor 小波变换, 得到其 Gabor 特征向量, 然后利用改进的广义 K-L 变换方法将高维特征向量变换到低维空间, 最后将得到的低维特征向量利用欧氏距离法与训练样本库中的特征向量作匹配识别。该方法首次将基于时频变换的特征提取算法与基于子空间的特征提取算法结合起来, 既充分利用了 Gabor 函数优良的特征提取性能, 又有效解决了高维特征的降维处理问题。通过使用自行采集的数据库对该方法作对比实验, 获得了 94% 的识别率, 验证了该方法的有效性和准确性。

关键词: 掌纹特征提取; Gabor 小波; 改进的广义 K-L 变换

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2009)01-0398-03

Research of novel palmprint feature extraction method

WU Xu-bin, WANG Tong-qing, LI Hong-you, GUO Chun-hua, MA Jin-ying

(Optic-Electronic Technology & System Laboratory of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper presented a novel method of palmprint feature extraction using Gabor wavelet and improved generalized K-L transform. The new method made use of Gabor transform to obtain Gabor eigenvector of palmprint from palmprint ROI image in testing samples, then used the improved generalized K-L transform to extract the master components and reduced dimensions of Gabor features. Finally, matched the features with other features in training samples to realize recognition. The method integrated the feature extraction algorithm based on time-to-frequency transform with the algorithm based on subspace transform, and made full use of Gabor function's fine capability of feature extraction and also effectively solved the problem of feature's high dimensions, the 94% recognition rate shows the method's effectiveness.

Key words: palmprint feature extraction; Gabor wavelet; improved generalized K-L transform

0 引言

掌纹识别利用人的掌部纹理作为生物特征进行身份的自动确认^[1], 是生物特征识别中又一新兴技术, 其研究始于 1998 年。与常见的指纹、人脸、虹膜等生物特征识别技术相比, 掌纹识别主要具有以下优势^[2]: a) 面积较大, 涵盖的信息量丰富, 因此具有更好的区分性; b) 主要特征稳定且明显, 提取特征时不容易受到噪声的干扰; c) 在低分辨率图像下提取的特征已足以提供身份确认所需的信息; d) 不容易因受伤或者磨损而影响到采集图像的质量, 被窃取的可能性比指纹小得多; e) 采集设备简单易行, 且成本远低于虹膜识别的采集设备; f) 科学研究表明, 对位于手部的生物特征进行采集时, 被采集者感到被侵犯的程度最低。

掌纹同其他应用于身份识别的生物特征相比, 将具有更广阔的应用前景。在掌纹识别中, 要解决的基本问题是特征的提取和相似度的测量。掌纹识别算法应该解决两方面的问题: a) 掌纹特征的提取和选择; b) 特征分类器的设计。其中特征的提取和选择是至关重要的, 因为它强烈地影响到后面分类器的设计和最终的识别性能。现有文献中涉及的掌纹特征提取

算法大致分为四类, 即基于结构的特征提取^[3,4]、基于空域—频域变换的特征提取^[5,6]、基于统计的特征提取^[7]、基于子空间的特征提取^[8]。

1 掌纹 ROI 图像 Gabor 特征的提取^[9]

Gabor 小波是一组窄带通滤波器, 每个滤波器均具有各自的频率选择性和方向选择性, 在掌纹识别中只要选择适当的尺度和方向就可以获得所需的掌纹纹理特征表达。对给定的图像 $I(x, y)$, 它的 Gabor 小波变换为

$$GI(x, y) = \int I(\xi, \eta) g_{a, \theta}^*(x - \xi, y - \eta) d\eta d\xi \quad (1)$$

其中 $g_{a, \theta}(x, y) = 1/(2\pi\gamma\sigma^2) \exp\{-a^2/(2\sigma^2)[x \cos \theta + y \sin \theta]^2 +$

$$\gamma^2(-x \sin \theta + y \cos \theta)^2\} \times$$

$$\exp[jaw_0(x \cos \theta + y \sin \theta)]; a > 1, 0 \leq \theta < \pi \quad (2)$$

其中: * 表示复共轭; w_0 是 Gabor 函数的径向中心频率; γ 为高斯包络的宽高比; a 为 Gabor 小波的尺度参数; θ 为小波的方向(逆时针的旋转角度)。

令 $a = 2^{-m}$, $m = 0, 1, \dots, M-1$, $\theta = n\pi/N$, $n = 0, 1, \dots, N-1$, M 和 N 分别为 Gabor 小波的尺度数和方向数, 则得到掌纹

收稿日期: 2008-02-28; 修回日期: 2008-05-01

作者简介: 吴旭宾(1982-), 男, 浙江兰溪人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理与模式识别等(wxb2006@ce.cn); 汪同庆(1949-), 男, 重庆人, 教授, 博导, 主要研究方向为光机电一体化技术、计算机自动识别技术及应用; 李宏友(1981-), 男, 四川眉山人, 博士, 主要研究方向为计算机视觉与智能系统; 郭春华(1978-), 女, 湖北随州人, 博士, 主要研究方向为图像处理与模式识别; 马锦英(1983-), 女, 浙江东阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为 CALL。

$I(x, y)$ 的 Gabor 小波表达为

$$S = \{GI_{m,n}; m=0,1,\dots,M-1, n=0,1,\dots,N-1\} \quad (3)$$

另外,将变换后所有尺度、方向的特征级联起来构成一个增广的特征矢量,为避免维数过高,在级联之前对每个 $GI_{m,n}$ 进行下采样(采样间隔为 δ),并归一化为零均值、单位方差。处理后得到新的 Gabor 特征矢量为

$$S^{(\delta)} = [GI_{m,n}^{(\delta)T}]; m=0,1,\dots,M-1, n=0,1,\dots,N-1 \quad (4)$$

其中: $GI_{m,n}^{(\delta)}$ 为从 $GI_{m,n}$ 经过下采样和归一化得到的特征矢量、均值和方差为 $\mu_{S^{(\delta)}} = 0, \sigma_{S^{(\delta)}} = 1$ 。增广特征矢量 $S^{(\delta)}$ 包括了图像 Gabor 特征表达的所有尺度和方向的信息。图 1 是一幅掌纹 ROI 灰度图像的 Gabor 小波表达。其中: $M=N=4$, 带宽 $B=1.0$ 倍频程, 径向中心频率 $w_0 = \pi/2$, 标准差 $\sigma = 2$, 采样间隔 $\delta = 64$ 。

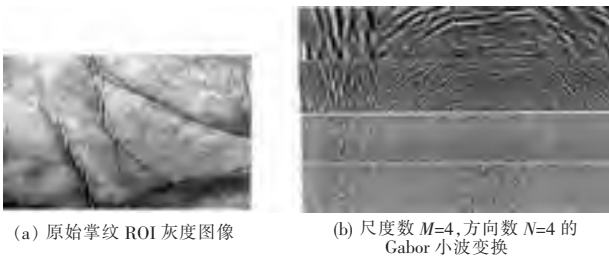


图 1 掌纹 ROI 图像的 Gabor 小波表达

2 改进的广义 K-L 变换在掌纹特征提取中的应用

设有 C 个已知的模式类别, n_i 表示第 i 类的训练样本数, 第 i 类($i=1,2,\dots,C$)的第 j 个($j=1,2,\dots,n_i$)训练样本图像为 $m \times n$ 的矩阵 $A_j^{(i)}$ 。第 i 类的训练样本的平均图像为 $A^{(i)}$, 所有训练样本的均值图像记做 A 。将训练样本图像 $A_j^{(i)}$ 投影到 X 上后, 得到如下投影特征向量:

$$Y_j^{(i)} = A_j^{(i)} X; i=1,2,\dots,C; j=1,2,\dots,n_i \quad (5)$$

假设第 i 类投影特征向量的均值为 $Y^{(i)}$, 所有训练样本投影特征向量的均值为 Y , 则有 $Y^{(i)} = A^{(i)} X, Y = AX$ 。令 M_b, M_w 分别为图像类间散布矩阵和图像类内散布矩阵, 则

$$M_b = \sum_{i=1}^C P_i (A^{(i)} - A)^T (A^{(i)} - A) \quad (6)$$

$$M_w = \sum_{i=1}^C P_i \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} (A_j^{(i)} - A^{(i)})^T (A_j^{(i)} - A^{(i)})$$

其中: P_i 表示第 i 类的先验概率($i=1,2,\dots,C$)。由包含在类平均向量中判别信息的最优压缩技术, 容易确定一组最佳图像投影轴 $X_1, X_2, \dots, X_d$, 使得包含在类平均图像中的判别信息得到最优压缩。具体步骤如下^[10]:

a) M_w 是对称正定阵, 因此一定存在一个白化矩阵 B , 使得 $B^T M_w B = I$ (I 是单位阵)。这种变换实际上是分两步进行的, 首先通过变换矩阵 $U = (u_1, \dots, u_n)$ 消除投影特征向量的相关性($u_1, \dots, u_n$ 是 M_w 的标准正交的特征向量), 然后用矩阵 $\Lambda^{-1/2}$ 进行归一化(Λ 是 M_w 的特征值对角矩阵), 即 $B = U\Lambda^{-1/2}$ 。经过变换后的图像类间散布矩阵为

$$M'_b = B^T M_b B \quad (7)$$

b) 求出 M'_b 的标准正交的特征向量系为 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$, 假设对应的特征值满足 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n$ 。若 M'_b 的秩为 d (等于 M_b 的秩, 且 $d \leq C-1$), 那么最佳图像投影轴为 $X_1 = B \xi_1, X_2 =$

$B \xi_2, \dots, X_d = B \xi_d$ 。

由上述图像投影轴求法步骤可知, 矩阵 B 使类内散布矩阵 M_w 归一化, 同时也对类间散布矩阵 M_b 作了变换。但是本文的目的是区分属于不同类别的样本, 而矩阵 B 的变换值的讨论, 因为 B 仅仅使得类内散布矩阵 M_w 归一化, 而对类间散布矩阵 M_b 所作变换的意义并不明确。因此, 本文借鉴文献[11]提出的广义 K-L 变换算法, 在求解过程中, 用原始类间散布矩阵来计算投影特征轴, 而不是上面所述的 M'_b , 实验已经证明这种改进有更好的识别效果。

3 算法总结

本文的掌纹特征提取算法具体实现步骤如下:

a) 预处理后的 ROI 灰度图像进行 Gabor 小波变换。提取掌纹感兴趣区域(ROI)并作预处理后, 根据式(1)~(4), 选择参数 $M=N=4$, 带宽 $B=1.0$ 倍频程, $\gamma=1, w_0=\pi/2, \sigma=2, \delta=64$ 进行 Gabor 小波变换, 得到 Gabor 特征, 见图 1。

b) 将小波变换后所得高维特征以矩阵形式表示, 记为 A 。根据式(6)求得类内散布矩阵 M_w 的表达式后, 计算其标准正交的特征向量及特征值, 从而求得变换矩阵 U 和特征值对角矩阵 Λ , 再由式 $B = U\Lambda^{-1/2}$, 求得白化矩阵 B 。

c) 根据式(6)求得类间散布矩阵 M_b 的表达式, 进而求其特征值和标准正交的特征向量, 再选取 m 个最大的特征值所对应的特征向量构造出投影轴:

$$X_1 = B \xi_1, X_2 = B \xi_2, \dots, X_d = B \xi_d$$

d) 通过下式对掌纹 ROI 图像进行特征提取 $Y_k = AX_k, k=$

$$1, 2, \dots, d, \text{ 即 } Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AX_1 \\ AX_2 \\ \vdots \\ AX_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{u} \\ \vdots \\ \hat{u} \end{bmatrix} \quad \text{其中: 投影特征向量 } Y \text{ 的维}$$

数 $N = m \times d$ 。

4 实验结果分析

实验环境: Intel Celeron CPU 2.66 GHz, 内存 508 MB, 操作系统 Windows XP Professional Service Pack 2, 特征提取和匹配利用 MATLAB 7.0.1 和数字图像处理工具箱实现。实验匹配方法选用欧氏距离法, 数据库选用东芝公司 fi-60F 平板扫描仪采集的私有库中的 30 个不同手掌, 每个手掌 10 幅大小为 640×480 大小的原始掌纹图像数据, 再经过预处理后得到 256×256 大小的掌纹子图, 这样由 15 个类共 300 幅掌纹子图组成的图像样本数据库便建立了。图 2 给出了部分经预处理之后得到的掌纹子图像。



图 2 数据库中的部分掌纹子图

在识别过程中, 首先从数据库的每种类别的掌纹样本中随机抽取 5 幅子图样本组成训练集, 然后将剩下的 5 幅子图样本作为测试集。识别方法是由两个阶段组成, 即样本训练和样本

测试。训练阶段利用本文提出的特征提取算法从已知类别的样本中提取出掌纹子图的纹理特征,并利用这些特征组成不同类别的模板。在测试阶段,对测试集内待识别的掌纹特征矢量与已经训练好的已知类别的掌纹特征矢量相比较,计算其欧氏距离,最终得到分类识别结果。这两个过程分别在训练集和测试集上进行。

针对本文所采用的数据库分别应用广义 K-L 变换法、Gabor 小波变换 + 广义 K-L 变换法、Gabor 小波变换 + 改进的广义 K-L 变换法三种特征提取算法进行掌纹识别对比实验,实验结果如表 1 所示。

表 1 私有掌纹库下三种方法的实验结果

特征提取算法	测试 样本数	正确 识别	错误 识别	识别率 /%	识别 时间/s	总耗时/s
广义 K-L	150	136	14	90.67	4	21
Gabor 小波 + 广义 K-L	150	139	11	92.66	3.7	18
Gabor 小波 + 改进的广义 K-L	150	141	9	94	3	14

从表 1 可以看出,在使用相同测试样本数量的情况下,本文所提出的基于 Gabor 小波和改进的广义 K-L 变换的掌纹识别方法比广义 K-L 方法和 Gabor 小波 + 广义 K-L 方法有更好识别效果,而 Gabor 小波 + 广义 K-L 方法又比单独使用广义 K-L 方法的效果要好。究其原因:a) Gabor 小波的引入使得系统对光照等因素的影响变得不敏感,具有了更好的鲁棒性,因而提高了识别率;b)改进后的广义 K-L 变换在计算量上比广义 K-L 变换有所降低,所以消耗的时间有所减少。

5 结束语

本文提出了一种基于 Gabor 小波和改进的广义 K-L 变换实现掌纹识别方法。该方法利用 Gabor 小波捕获对应一定频率(尺度)、空间位置和方向选择性的局部结构,便于实现无对应的识别,而且使得掌纹的 Gabor 表示对光照的变化具有一定的鲁棒性。同时,利用改进的广义 K-L 变换一方面解决了掌纹 Gabor 特征维数高的问题,较好地实现了降维;另一方面克服了 K-L 变换两个缺点,即在投影轴的选择过程中没有考虑样

本的类内及类间的信息和对图像光照条件不同没有较强的鲁棒性,解决了 Fisher 线性判别式的过学习问题,识别率也比广义 K-L 变换有所提高。因而,该方法具有一定的理论和现实意义。

参考文献:

- [1] WEI Shu, ZHANG D. Palmprint verification: an implementation of biometric technology[C]//Proc of the 14th Pattern Recognition International Conference on Pattern Recognition. 1998;219-221.
- [2] 吴介,裴正定. 掌纹识别中的特征提取算法综述[J]. 北京电子科技学院学报,2005,13(6):86-92.
- [3] LI Wen-xin, ZHANG D, XU Zhuo-qun. Image alignment based on invariant features for palmprint identification[J]. Signal Processing Image Communication, 2003, 18(5):373-379.
- [4] DUTA N, JAIN A K, MARDIA K V. Matching of palmprint[J]. Pattern Recognition Letters, 2001, 23(4):477-485.
- [5] LI Wen-xin, ZHANG D. Palmprint identification by Fourier transform[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2002, 16(4):417-432.
- [6] 苏晓生,林喜荣,丁天怀,等. 基于小波变换的掌纹特征提取[J]. 清华大学学报,2003,43(8):1049-1051.
- [7] PANG Ying-han, CONNIE T, JIN A, et al. Palmprint authentication with Zernike moment invariants[C]//Proc of the 3rd and Information Technology IEEE International Symposium. 2003:199-202.
- [8] LU Guang-ming, ZHANG DAVID, WANG Kuan-quan. Palmprint recognition using eigenpalm features[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(9-10):1463-1467.
- [9] 孙冬梅. 手形和掌纹识别算法的研究[D]. 北京:北方交通大学,2003.
- [10] GAO Xiu-mei, LI Shu-qin, YANG Jing-yu. A generalized K-L transformation and face recognition[J]. Journal of Qingdao Institute of Chemical Technology, 2003, 24(3):270-272.
- [11] WU Shuang-yuan, WANG Kuan-quan. Palmprint recognition based on generalized K-L transformation[J]. Journal of Harbin Commercial University, 2004, 20(6):661.
- [10] PAPPAS T N, SAFRANEK R J. Perceptual criteria for image quality evaluation[M]//BOVIK A. Handbook of image and video processing. New York:Academic,2000:669-684.
- [11] KUNT M, LAMBRECHT C B. Special issue on image and video quality metrics[J]. Signal Process, 1998, 70(3).
- [12] LUBIN J. A visual discrimination mode for image system design and evaluation[C]//PELI E. Proc of Visual Models for Target Detection and Recognition. Singapore:World Scientific, 1995:207-220.
- [13] DALY S. The visible difference predictor: an algorithm for the assessment of image fidelity[C]//Proc of SPIE. 1992:2-15.
- [14] WATSON A B, HU J, MCGOWAN J F. DVQ: a digital video quality metric based on human vision[J]. J Electron Imag, 2001, 10(1):20-29.
- [15] WATSON A B, YANG G Y, SOLOMON J A, et al. Visibility of wavelet quantization noise[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(8):1164-1175.
- [16] WANG Z, SHEIKH H R, BOVIK A C. Objective video quality assessment[M]//FURHT B, MARQUES O. The handbook of video databases: design and applications. Boca Raton, FL: CRC, 2003.
- [17] 张方, 吴成柯, 肖嵩, 等. 一种基于感兴趣区域视频编码新方法[J]. 电子学报, 2005, 33(4):634-637.
- [18] 肖嵩, 张方, 吴成柯. 基于小波 SPIHT 的联合信源信道编码新方法[J]. 计算机学报, 2003, 26(3):281-286.

(上接第 394 页)

- [3] ARAMVITH S, KORTAKULKIJ H, KORTAKULKIJ D, et al. Joint source-channel coding using simplified block-based segmentation and content-based rate-control for wireless video transport[C]//Proc of International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC). Washington DC:IEEE Computer Society, 2002:71-76.
- [4] VETRO A, SUN H, WANG Y. MPEG-4 rate control for multiple video objects[J]. IEEE Trans on CSVT, 1999, 9(1):186-199.
- [5] MPEG-4 video verification model version 18.0, ISO/IEC/JTC1/WG11[S]. 1999.
- [6] GEISLER W S, PERRY J S. A real-time foveated multiresolution system for low-bandwidth video communication[C]//Proc of SPIE. 1998:294-305.
- [7] ROBSON J G, GRAHAM N. Probability summation and regional variation in contrast sensitivity across the visual field[J]. Vis Res, 1981, 21:409-418.
- [8] BANKS M S, SEKULER A B, ANDERSON S J. Peripheral spatial vision: limits imposed by optics, photoreceptors, and receptor pooling[J]. J Opt Soc Amer, 1991, 8:1775-1787.
- [9] ARNOW T L, GEISLER W S. Visual detection following retinal damage: prediction of an inhomogeneous retino-cortical model[C]//Proc of SPIE. 1996:119-130.