

独立成分分析和支持向量机的虹膜识别方法

王 勇, 许录平

(西安电子科技大学电子工程学院 西安 710071)

【摘要】 为了提高虹膜识别的性能, 提出了一种新的虹膜识别方法。该方法采用独立成分分析获取虹膜高阶统计信息, 并将输入模式空间映射到相应的独立成分空间, 然后在该独立成分空间中, 利用支持向量机的泛化特性构造最优分类超平面。通过CASIA虹膜数据库的仿真实验, 该方法降低了特征空间维数, 具有较高的正确识别率。特别是对高斯核, 取得了98.61%的正确识别率, 较相异度函数和最近特征线方法分别高6.48%和4.54%, 同时也提高了算法的鲁棒性和灵活性。

关键词 独立成分分析; 虹膜识别; 最近特征线; 支持向量机
中图分类号 TP391.4 文献标识码 A

Iris Recognition Method Based on Independent Component Analysis and Support Vector Machine

WANG Yong, XU Lu-ping

(School of Electronics Engineering, Xidian University Xi'an 710071)

Abstract In order to improve the performance of iris recognition, a novel iris recognition method is presented. In this method the independent component analysis is used to obtain iris high order statistic information and mapped the input mode space into the corresponding independent component space. Then the maximal hyperplane is constructed in the independent component space using the generalization of the support vector machine. Numerical simulation based on the CASIA iris database shows that the proposed method can reduce the dimension of the feature space and has higher correct classification rate. Especially, though using Gauss kernel, the rate of correct recognition reaches 98.61% which is increased 6.48% and 4.54% respectively comparing with dissimilarity functions and the nearest feature line method, while improving robustness and flexibility of iris recognition.

Key words independent component analysis; iris recognition; nearest feature line; support vector machine

随着当今网络化进程的发展, 安全问题显得尤为重要, 基于生物特征识别的智能身份识别方法的研究正在受到人们的广泛关注。目前已经出现了不同的生物识别特征, 包括有声音、人脸、指纹、视网膜、签名、步态和虹膜等。作为重要的身份鉴别特征, 虹膜具有唯一性、稳定性、可采集性和非侵犯性的优点, 并且它的错误率是各种生物特征识别中最低的^[1]。因此, 虹膜识别的研究已经得到学术界和企业界的高度重视。

从识别身份合法性的本质上讲, 虹膜识别是一个对虹膜特征的分类识别问题, 通过对训练集样本学习来构造分类器, 将合法身份与非法者分开的过程, 机器学习方法应用于虹膜特征分类中, 能使算法具有更强的适应性、自学习性和鲁棒性。通常的

方法强调虹膜特征提取的有效性^[1-3], 而对分类问题的适应性和鲁棒性关注较少。对于识别系统而言, 显然准确性、适应性和鲁棒性同样重要。

为了提高虹膜识别算法的性能, 本文研究了独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)的特征提取机理和支持向量机(Support Vector Machine, SVM)的机器学习理论, 并针对虹膜图像的特点, 提出了独立成分分析和支持向量机的虹膜识别方法, 通过CASIA虹膜图像库的实验验证说明了该方法提高了虹膜特征的分类效率和准确性, 增强了算法的鲁棒性。

1 虹膜图像预处理

虹膜是人眼中位于瞳孔和巩膜之间的环状部分,

收稿日期: 2005-10-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60472085); 陕西省自然科学基金资助项目(2006F01)

作者简介: 王 勇(1976-), 男, 讲师, 主要从事图像处理与模式识别、多传感信息融合方面的研究。

如图1所示。它含有丰富的细节纹理特征,非常适合用于身份识别,具有很高的正确识别率。但在虹膜图像获取中,由于存在诸多不确定因素,拍摄到的图像往往有较明显的变化。如不均匀光照条件引起虹膜图像的亮度不均匀分布,眼睛到虹膜图像采集装置的距离变化可能导致虹膜在图像中的位置和大小变化等。因此,在虹膜特征提取之前,有必要进行预处理来减少上述各种因素带来的影响。一般地,虹膜图像的预处理过程分为三步:虹膜定位、虹膜图像归一化和虹膜图像对比度增强等。本文采用三步多尺度的虹膜定位方法^[4]和直方图均衡策略^[5]对虹膜图像进行预处理。图1b~图1d分别为虹膜预处理各阶段的结果。

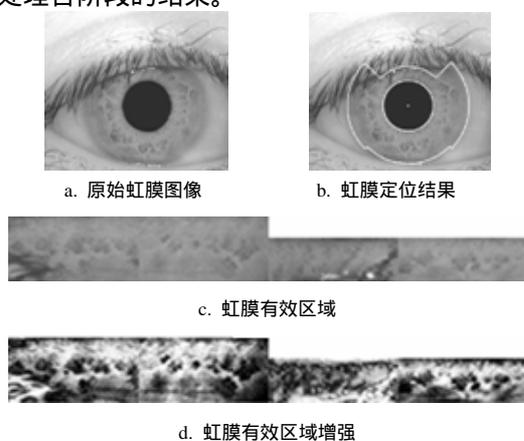


图1 虹膜预处理结果

2 ICA和SVM的学习方案

2.1 ICA特征提取

ICA 是一种用于研究信号处理和数据分析的统计方法,能从高阶上解决数据的不相关问题,广泛应用于特征提取方面^[6]。该方法的目的是将观察到的数据进行某种线性分解,分解出统计独立成分的过程。其基本思想是用一组基函数表示一系列随机变量,并假设它的各成分之间是统计独立的或尽可能独立。通常,给定 n 通道的观测信号 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, 设该信号是 m 个独立元信号 $S = (s_1, s_2, \dots, s_m)^T$ 的线性组合,则 S 和 X 存在关系: $X = AS$, 其中 A 为混合矩阵,该矩阵的各列代表了所有特征。ICA 方法就是在混合矩阵 A 和独立成分 S 未知的情况下,根据观测数据 X 确定分离矩阵 W , 使得变换后的输出 $S^* = A^+X = WX$ 是对 S 的最优估计。对于该模型的求解,可采用负熵度量准则作为判断向量相互独立的标准,然后应用牛顿极大化方法^[6-7],得到分离矩阵 W , 于是得到独立元特征 $S^* = WX$ 。

2.2 基于SVM的ICA特征分类

获取 ICA 特征后,就建立了特征样本,接下来就是如何构造分类超平面实现特征分类。众所周知, SVM 是文献[8]提出的一种泛化能力很强的学习机器,在解决小样本问题上表现出许多特有的优势。它主要是在保证经验风险尽可能小的情况下,极小化置信风险上界,通过一个核函数将特征映射到高维空间,并构造一个最优分类超平面,实现特征的分类。该最优分类面的构造可归结为一个带约束的二次规划问题,即: $\min_{\omega, b, \xi} \left(\frac{1}{2} \omega^T \omega + C \sum_{i=1}^l \xi_i \right)$, 约束:

$$y_i (\langle \omega, \Phi(x_i) \rangle - b) - 1 - \xi_i \quad (1)$$

该二次规划问题用偶规划进行求解得到:

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \sum_{i=1}^l \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j), \text{ 约束:}$$

$$y^T \alpha = 0, 0 \leq \alpha_i \leq C \quad i=1, 2, \dots, l \quad (2)$$

式中 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l)^T$, α_i 为式(1)中不等式约束对应的Lagrange乘子; $K(x_i, x_j)$ 为核函数。于是最优分类函数为 $f(x) = \text{sgn}(\sum \alpha_i^* y_i K(x_i, x) + b^*)$, 其中, $\text{sgn}(\cdot)$ 为符号函数; α_i^* 和 b^* 分别为 α_i 和 b 的最优值。

3 基于ICA和SVM的虹膜识别

从判断身份合法性的要求来讲,虹膜识别的本质是通过确定一个判别函数 $f: R^n \rightarrow \{-1, +1\}$, 把输入虹膜特征集 $D = \{x_i | i=1, 2, \dots, l\}$ ($x_i \in R^n$) 分为两类,即 $f(x_i)$ 为+1时,判断 x_i 为合法身份,否则,为非法。因而是一个标准的分类问题。

对一幅采集来的虹膜图像,通过前面介绍的虹膜图像预处理算法能去除一些不必要的信息,得到一幅增强后的虹膜图像如图1d,该图像包含大量的虹膜特征,如斑点、细丝、冠状、条纹和隐窝等,然而这些特征往往隐藏于虹膜图像中,信息冗余性的存在反而会降低身份判别的效果和效率,因此,有必要对虹膜图像信息进行特征提取。所以,本文采用的思路是对虹膜预处理图像进行独立成分分析,消除输入虹膜图像的高阶相关性,然后将输入模式空间映射到独立成分空间,并在该空间中用SVM分类器构造最优分类面,判断身份的合法性。

具体来讲,输入虹膜图像 I_0 作为训练样本,通过图像预处理算法得到增强后的虹膜图像 I , 对其进行展开处理生成虹膜观测向量 X , 为了获取虹膜独立分量 S , 需要对观测向量进行中心化,通过变

换 $X = X - E\{X\}$ 将观测向量标准化为均值为零的标准样本, 由ICA方法的求解策略在负熵度量准则下应用牛顿极大化方法得到分离矩阵 W , 并将训练数据映射到独立成分空间 R^m 中, 即 $S = WX$ 。在该独立成分空间中, 应用SVM的核化方法求出最优分类超平面 f 。重复该过程对训练样本进行分类超平面构造, 并按照风险进行排序, 选择最小风险的超平面作为训练样本的最优分类超平面。当测试虹膜图像 I_{new} 到来时, 如果分类器输出为+1, 认为身份合法, -1则为非法。

4 实验结果及分析

为了评估方法的有效性, 本文采用CASIA虹膜图像库^[9]进行实验验证。该图像库包含有108个个体, 通过虹膜图像预处理方法得到虹膜图像序列, 并采用独立元分析方法提取相互独立的训练样本集与测试样本集, 其中, 选择每个个体的两幅图像用来学习, 三幅图像用来测试, 这样训练样本集中共有216条记录, 测试数据集中包含324条记录。

实验采用正确识别率 η (正确识别样本数目与参与识别的样本数目之比)对虹膜识别的效果进行评价。对于支持向量机最优超平面的学习, 核函数的类型及其参数的选择至关重要, 但由于参数的选择没有统一的标准, 所以, 本文主要通过数值实验方法进行模型选择。下面将通过两组数值实验来说明这一点。

实验1 基于ICA和SVM(ICA&SVM)的高斯核与多项式核的性能比较。

分别选用高斯核和多项式核, 其中高斯核的表达式为 $\exp(-|x_i - x_j|^2 / (2\sigma^2))K(x_i, x_j)$, 多项式核的表达式为 $K(x_i, x_j) = (x_i \cdot x_j + 1)^d$ 。对ICA&SVM进行了仿真实验, 结果如表1所示。同时, 为了进行性能比较, 在该数据库上, 表1给出了Boles的相异度函数^[2]和Ma的最近特征线^[3]的实验结果。

表1 ICA&SVM方法高斯核与多项式核的性能比较

	Boles方法	Ma方法	ICA&SVM			
			高斯核		多项式核	
			$\sigma=0.5$	$\sigma=1.5$	$d=0.5$	$d=1.5$
η (%)	92.61	94.33	98.53	98.61	94.98	98.61

从实验1中可以看出, ICA&SVM方法在两种核函数的正确识别率高于相异度函数和最近特征线方法, 尤其, 高斯核在 $\sigma = 1.5$ 时的正确识别率较Boles

方法高6.48%, 较Ma方法高4.54%。同样, 多项式核在两种参数下的正确识别率也有较明显的性能改善。可见, 新方法能提高虹膜的正确识别率。

从高斯核和多项式核的对比中还可以看出, 在采用多项式核时, 多项式的阶数 d 对正确识别率影响较大, 多项式核阶数在 $d = 1.5$ 时的正确识别率较 $d = 0.5$ 时高3.82%。而高斯核参数 σ 的正确识别率稳定在一个较小的范围, 即 $\sigma = 1.5$ 的正确识别率较 $\sigma = 0.5$ 时只高出0.08%, 表现出更强的鲁棒性。从中可以看出, 核参数的选择对分类器的性能有较大的影响。

实验2 高斯核参数 σ 对虹膜识别性能的影响。

在性能比较实验中, 当支持向量机的核函数采用高斯核时, 完成了一组仿真实验, 其中图2给出了高斯核参数 σ 对正确识别率的影响关系。另外, 图3还给出了在对应核参数值下的支持向量数目。

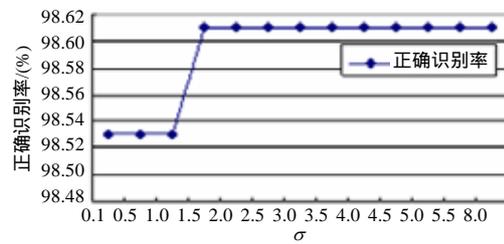


图2 高斯核参数 σ 对分类正确率的影响

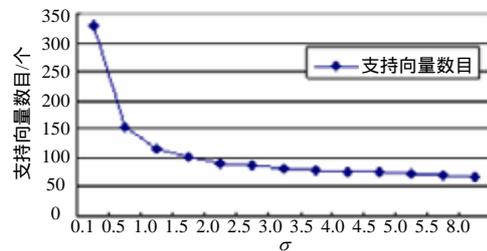


图3 高斯核参数 σ 对支持向量数目的影响

从上面的对比实验结果可看到, 当支持向量机采用高斯核时, 正确识别率稳定在一个较小的范围, 具体来讲, 当参数 $\sigma \in [0.1, 10]$ 时, 正确识别率 $\eta \in [98.53\%, 98.61\%]$, 识别效果较好, 且具有强的鲁棒性。值得提及的是, 在正确识别率相同的情况下, 支持向量的数目有些变化, 如图3的变化关系, 支持向量的数目有随参数 σ 增大而降低的趋势, 所以, 在不影响正确识别率的情况下, 较大值的核参数 σ 有助于降低支持向量的维数, 提高算法的操作性。因此, ICA&SVM方法对参数变化不太敏感, 同时又能增强算法的灵活性。

通过上面的实验对比表明, 采用ICA&SVM方法的虹膜正确识别率有较明显的提高, 也增强了算法

的灵活性。尤其在低核参数的影响下,更能体现出算法的鲁棒性。这说明,采用ICA&SVM方法的虹膜识别不仅能有效地获取虹膜独立元特征,而且提高了识别性能。

5 结束语

通过本文的实验比较,ICA&SVM的虹膜识别方法降低了特征空间的维数,并取得了很好的正确识别率,较相异度函数和最近特征线方法有明显的提高。这说明,在独立成分空间中可以用更低维数、更有效的特征来表示虹膜的细节特征。由于各独立成分之间具有高阶独立性,所以得到的分类器具有很强的泛化性能,对合法身份有良好的识别能力。

参 考 文 献

- [1] DAUGMAN J. The important of being random: statistical principles of iris recognition[J]. *Pattern Recognition*, 2003, 36(2): 279-291.
- [2] BOLES W W. A security system based on Human iris identification using wavelet transform[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 1998, 11(1): 77-85.
- [3] MA L, WANG Y H, TAN T N. Iris recognition using circular symmetric filters[C]//*Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition*. [S.L.]: [s.n.], 2002: 414-417.
- [4] 王 勇, 韩九强, 刘鹏飞. 基于多尺度策略的三步虹膜定位算法研究[J]. *微电子学与计算机*, 2005, 22(4): 26-29.
- [5] 阮秋琦. *数字图像处理学*[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [6] HYVARINEN A, OJA E. Independent component analysis: algorithms and applications[J]. *Neural Networks*, 2000, 13(4-5): 411-430.
- [7] HYVARINEN A, KARHUNEN J, OJA E. Independent component analysis[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- [8] Vapnic V. *Statistical learning theory* [M]. New York: Wiley, 1998.
- [9] The Center for Biometrics and Security Research. CASIA iris image database[DB/OL]: <http://www.sinobiometrics.com>, 2006-06-10.

编 辑 刘 文 珍

(上接第575页)

- [2] SIBSON R. A vector identity for the dirichlet tessellation[J]. *Math Proc Cambridge Philos Soc*, 1980, 87: 151-155.
- [3] MOCCOZET L, THALMANN N M. Dirichlet free-form deformations and their application to hand simulation[C]// In: *Proceedings Computer Animation'97*. [S.L.]: IEEE Computer Society, 1997: 93-102.
- [4] BOISSONNAT J D, SHARIR M, TAGANSKY B, et al.

Voronoi diagrams in higher dimensions under certain polyhedra distance functions[J]. *Discrete Comput Geom*, 1998, 14: 485-519.

- [5] SEDERBERG T W, Parry S R. Free form deformation of solid Geometric models[J]. *Computer Graphics*, 1986, 20(4): 151-160.

编 辑 漆 蓉

(上接第578页)

- [4] PETER M H, ALAN H W. Rapid volume rendering using a boundary-fill guided ray cast algorithm[C]//*Proceedings of the Computer Graphics International (CGI'91)*. N. M. Patrikalakis: Springer-Verlag, 1991: 235-249.
- [5] REZK-SALAMA C, ENGEL K, BAUER M, et al. Interactive volume rendering on standard PC graphics hardware using multi-texture and multi-stage rasterization[C]// In *SIGGRAPH/Eurographics Workshop on Graphics Hardware*. Providence, RI, USA: [s. n.], 2000: 109-118.
- [6] CULLIP T J, NEUMANN U. Accelerating volume

reconstruction with 3D texture hardware[R]. Technical Report TR93-027, University of North Carolina, Chapel Hill N.C., 1993: 1-4.

- [7] DANIEL W, MANFRED W, ERTL T. Maintaining constant frame rates in 3D texture-based volume rendering[C]// *Proceedings of the Computer Graphics International (CGI'04)*. Crete, Greece: [s. n.], 2004: 1530-1652.
- [8] GELDER A V, KIM K. Direct volume rendering with shading via three-dimensional textures[C]// In *Proc. of ACM Symposium on Volume Visualization*. San Francisco, CA, USA: [s. n.], 1996: 23-30.

编 辑 漆 蓉