

摘要

人脸识别技术的研究试图赋予计算机根据人脸辨别人物身份的能力。该研究是模式识别和计算机视觉领域中的热点问题，具有重要的理论价值和广泛的应用前景。近年来，人脸识别技术取得了长足的进展，尤其是基于统计学习的人脸识别算法，已逐渐成为研究的主流。在基于统计学习的人脸识别算法研究中，经常遇到“小样本问题”（small sample size problem）：训练样本的个数远远小于样本特征空间的维数。对于人脸子空间分析算法，上述问题表现为散度矩阵估计不够准确或者计算上的困难。

本文围绕人脸识别中的“小样本问题”，在构建大规模中国人脸图像数据库、子空间方法中协方差矩阵和散度矩阵的表示形式、二维主成分分析和线性判别分析等方面展开深入研究。主要贡献总结如下：

1. 分析了现有公共人脸图像数据库的不足和局限，参与设计和构建了 CAS-PEAL 大规模中国人脸图像数据库，提出了相应的标准评测协议并给出了多个人脸识别基准算法的测试结果。该人脸库包含 1040 个人的 99594 幅图像，为人脸识别算法的研究和实际应用系统的开发提供了人数众多、变化丰富的人脸图像样本，截至目前已被 100 多个研究组申请使用。文中详细描述了 CAS-PEAL 人脸库的内容设计、采集方法、命名规则、各项统计数据 and 评测协议。并选用了四个有代表性的人脸识别算法作为基准算法，结合不同的人脸图像预处理方法，依据标准评测协议在 CAS-PEAL-R1 人脸库的六个正面人脸子库和三个姿态人脸子库上进行了测试，并对测试结果进行了分析。

2. 通过分析传统协方差矩阵以及分块协方差矩阵的定义，提出了广义协方差矩阵的定义，其每个元素是两个随机变量组的广义协方差。作为传统协方差矩阵的推广，广义协方差矩阵和传统协方差矩阵有着相似的性质，而且传统协方差矩阵可以看作广义协方差矩阵的一个特殊形式。在原始特征维数固定的条件下，随着每个随机变量组包含随机变量个数的增加，广义协方差矩阵的维数逐渐降低，对全部随机变量散度的描述精度也逐渐降低。在实际的应用中，当训练样本有限时，维数较低的广义协方差矩阵的估计会比较稳定。

3. 以广义协方差矩阵为基础，提出了统一主成分分析算法(Unified Principal Component Analysis, UPCA)。传统 PCA、2DPCA 及其多个变种算法都是 UPCA 的特例。在 UPCA 框架下，可以更好地解释这些算法的差异和优缺点，从而有利于提出进一步改进这些算法的指导性原则。依据这些原则，针对人脸识别问题，提出了网格采样分组算法和组内相关性削减算法。在 FERET、CAS-PEAL-R1 人脸库上的实验表明：上述理论分析和实验结果基本吻合，且本文提出的改进算法

有更优的性能。

4. 提出了广义散度矩阵的定义，并以此为基础，提出了统一线性判别分析算法(Unified Linear Discriminant Analysis, ULDA)。广义散度矩阵是传统散度矩阵的推广，当采用不同的分组策略时，基于广义散度矩阵的 ULDA 分别与传统 LDA、2DLDA、A2DLDA、BlockLDA 及 GridLDA 等多个算法等价。对于人脸识别问题，在 ULDA 框架下，可以解释这些算法的不同和优缺点，并且部分解决传统 LDA 算法中的“小样本问题”。为了进一步改善多数 ULDA 算法在低维特征空间中的性能，本文提出了组内判别特征提取算法。经实验验证，以上多个算法的理论分析和在 CAS-PEAL-R1 人脸库上的实验结果基本吻合，本文提出的改进算法可以明显提高多数 ULDA 算法在低维特征空间中的性能。

本文所参与构建的大规模人脸图像数据库及其标准评测协议，不仅对于其他人脸图像数据库的建设及其评测有一定的启发和指导作用，还为实际人脸识别应用系统的研究和开发提供了大量的图像样本。本文所提出的 UPCA 和 ULDA 统一框架，作为 PCA 和 LDA 的推广，对相关研究人员深入理解和使用特征子空间分析方法具有一定的参考价值。