

摘要

人脸识别是计算机视觉和模式识别研究中的热点问题,近年来受到越来越多研究者的重视。同时,作为生物特征识别的关键技术之一,其在公共安全、信息安全、金融等领域具有潜在的应用前景。当前的人脸识别系统在用户配合的理想情况下,取得了令人满意的结果。但在摄像环境不可控、用户不配合的情况下,识别性能急剧下降。因此,现有的人脸识别系统的主要难点在于光照、表情、姿态等因素引起的人脸外观的剧烈变化所带来的分类困难。

本文主要针对姿态鲁棒的人脸识别问题,采取对人脸图像进行姿态归一化(将非正面人脸校正为正面虚拟视图)预处理的技术路线,重点研究了实现姿态归一化所需的面部特征点定位、姿态估计以及姿态校正方法。概括而言,本文的主要研究成果包括:

(1) 提出了一种基于样例学习的面部特征点定位方法(ESL)。基于人脸图像特征向量与其中潜在的人脸形状向量之间存在的近似的线性关系的假设,本文采取线性回归思路,对图像进行简单的线性变换,从而可以快速有效的获得面部关键特征点构成的人脸形状信息。在实现过程中,分别选择使用图像亮度特征和二值化图像边缘特征来进行人脸形状向量的抽取。此算法很容易向多姿态进行扩展,可以较为准确的对非正面人脸图像上的面部关键特征点进行定位。实验表明:该方法不仅具有较高的面部特征定位精度,而且由于线性变换矩阵可以在训练阶段脱机得到,因而与传统的方法相比其计算效率更高。

(2) 提出了一种基于投影误差修正(PEC)的人脸图像姿态估计方法。理论上,基于正交投影原理,根据特定人的 3D 人脸模型及其人脸图像的五个面部关键特征点,即可计算得到该人脸图像的姿态信息。但由于求解特定人的 3D 人脸形状是一个病态问题,因此,通常只能利用平均的 3D 人脸模型来替代特定人的 3D 形状进行姿态估计。毫无疑问,此姿态估计结果必然受以下因素的影响而产生偏差:特定人脸 3D 形状与平均人脸模型之间的差异,以及实际成像的弱透视投影和理论上正交投影之间的差异。为降低估计偏差,本文提出一种基于投影误差修正的姿态估计方法,用高斯模型来模拟 3D 人脸形状以及弱透视投影和正交投影之间差异的分布。在给定人脸图像的 5 个关键点的前提下,由最大后验概率理论,借助于先验的误差分布模型,来推断得到特定人对应的 3D 形状,进而得到精确的人脸 3D 姿态。实验表明:此方法对于真实的人脸图像,姿态估计结果更加精确。

(3) 提出了一种基于局部线性回归(LLR)的姿态校正方法。通过将姿态校正形式化为从非正面人脸估计其虚拟正面视图的预测问题,本文提出了一种基于线性回归的正面视图预测方法,该方法可以在仅已知输入非正面人脸的双眼中心位置的条件下,通过线性回归算法预测出其虚拟正面视图。考虑到非正面人脸视图与正面人脸视图之间的映射对于不同人而言实际上并不相同,因此进一步改进上述算法,提出了一种基于分块模式的姿态校正方法,即所谓的局部线性回归(LLR)姿态校正方法。该方法基于 3D 人脸结构的先验知识,将人脸区域分成若干小的面片,在小的面片上进行上述线性回归操作以获得更为精确的预测结果。实验结果表明,无论从视图校正的视觉效果,还是从人脸识别的精度来看,此方法都具有很好的性能。

(4) 提出了一种基于 3D 稀疏变形模型(3D SDM)的 3D 人脸重建及姿态校正

方法。本方法利用人脸类的 3D 形状先验知识,根据单幅任意姿态下的人脸图像,重构其特定的 3D 形状信息。在 3D 人脸重构的基础上,通过图形绘制的方法得到正面姿态下的人脸视图,用于解决人脸识别中的姿态问题。该方法假设人脸的 3D 形状分布为高斯分布,将所有人脸的 3D 形状分布空间用主成分分析(PCA)模型表示。按照预先定义的 2D 人脸图像上的关键特征点,从稠密的 PCA 模型中得到稀疏的版本,即稀疏变形模型。基于此,在输入图像 2D 特征点的驱动下,恢复得到该特定人的 3D 形状,进而重构其 3D 人脸,实现姿态校正及任意姿态下的虚拟视图生成。实验表明:通过 3D 人脸重建得到的虚拟视图结果,从视觉上来看更加接近于真实人脸图像。同时,以 Gabor PCA+LDA 方法作为识别策略,在 CMU PIE 数据库中 45 度以内的图像上测试,将姿态校正后的视图作为输入,平均识别率达到了 97.5%左右,极大的改善了识别系统对于人脸姿态图像的适应能力。

总之,通过上述工作,本文对人脸识别中的姿态问题进行了深入研究,研究表明:不论是基于 2D 人脸图像的学习方法还是融合 3D 先验信息的人脸重建方法,都能实现很好的姿态校正,从而可以有效地提高人脸识别系统对姿态变化的鲁棒性。

关键词 人脸识别;面部特征点定位;姿态估计;姿态校正;高斯模型;局部线性回归;3D 稀疏变形模型