

识别时间可控的人脸识别方案

邢延超, 谈 正

(西安交通大学 电子信息工程学院 信息工程研究所, 陕西 西安 710049)

摘要:在已有的人脸识别方法中,识别时间一般随数据库规模而线性增长,因而难以控制,影响算法对大型人脸数据库的实用性。为此,提出了一种新的人脸识别策略:首先通过训练确定一组有代表性人脸作为参考脸,并在此基础上建立基于相似度的排序结构;这样在识别时只需计算待识别人脸与参考脸的相似度,即可结合排序结构确定一组最相似人脸,再逐个比较确定最终识别结果。由于大量计算已离线完成,识别速度大大提高。通过选择参考脸和最相似人脸的数目,可大致控制不同规模数据库的识别时间。实验表明,该识别策略下识别性能略有下降,但识别速度大大提高。

关键词: 人脸识别; 参考脸; 排序空间; 本征脸; Hausdorff 距离

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2003)05-0531-04

Face recognition scheme with controllable recognition time

XING Yan-chao, TAN Zheng

(Research Institute of Information Engineering, School of Electronics and Information engineering,
Xian Jiaotong University, Xian 710049, China)

Abstract: In the existing face recognition methods, recognition time usually increases linearly with the scale of face databases, which will certainly make the recognition algorithms less effective in practice. A novel face recognition scheme is presented. Firstly, a group of typical faces is selected, called reference faces, as comparison foundation through clustering in the eigenspace. Then, a similarity sorting space is built up based on the similarities with reference faces. For recognition, only need to compute the similarity of the input face with the reference faces to pick up the most similar faces in the sorting space quickly, then to compute the similarity with these picked up faces to determine the final recognition result. Since a lot of calculation is done offline, the recognition speed is improved greatly. Through selecting the number of reference faces and the mostly expected similar face set, the recognition time for different scales of databases can be controlled approximately. Experiments show that the recognition capability of our scheme decreases a little than ordinary methods, but the recognition speed is increased greatly.

Keywords: Facial recognition; Reference faces; Sorting space; Eigenface; Hausdorff distance

收稿日期:2002-12-20; 修订日期:2003-02-18

作者简介:邢延超(1973-),男,山东淄博人,博士生,研究方向为图像处理、模式识别、多媒体信息处理等。

1 引言

鉴于传统密码保密技术的种种不足,生物识别技术的研究和应用倍受关注。其中人脸识别由于具有非接触性、易用性、隐蔽性和易于为大众所接受等优点得到普遍关注,其应用具有重要的研究意义。

人脸识别方法大体分三类^[1~3]:基于几何特征的方法;基于纹理容貌的方法,如本征脸、神经网络方法;融合几何纹理信息的方法,如弹性图匹配。基于几何特征的方法识别能力有限,且几何特征准确提取尚未有效解决;基于纹理容貌的方法受光照、表情、视角等各种变化影响严重;融合几何纹理的方法融合了二者的优势,识别性能和鲁棒性都较好,但需要大量运算,速度较慢。

现阶段的研究主要集中在提高人脸识别性能,识别过程中一般将待识别人脸与数据库人脸逐个比较,这样识别时间就随数据库规模线性增长,限制了许多高性能识别算法在大型数据库上的应用,尤其是融合几何纹理的方法。由于逐个比较效率太低,为此首先从数据库中快速选出一组最相似人脸,然后再逐个比较以确定识别结果。

基于参考脸的相似排序空间快速识别策略:先通过主元分析及聚类确定一组代表性人脸作为参考脸;再计算数据库中所有人脸与参考脸的相似度,并按相似度排序,生成一排序空间;识别时只需计算待识别人脸与参考脸相似度,即可根据上述排序结果获取与待识别最相似的人脸,最后再逐个比较这些最相似人脸确定最终识别结果。由于利用了大量离线运算,可

提高识别速度。

实验中采用基于融合纹理信息增强 Hausdorff 距离的人脸识别方法获得了很好的识别性能和鲁棒性。实验用数据库包中有 2 000 多幅测试图像,利用 500 多幅即可取得满意的识别速度和效果。

2 算法系统结构

算法包括训练和识别两部分,如图 1 所示。在训练部分,先用主元分析法建立由本征脸张成的本征脸子空间,并将所有人脸样本投影到本征脸子空间;然后对投影结果聚类,取聚类中心对应的人脸作为参考脸;再用纹理增强 Hausdorff 距离计算样本与参考脸的相似度并排序。在识别部分,先计算待识别人脸与各参考脸的相似度,然后结合上述排序结果确定与待识别人脸最相似的一组人脸,最后逐个计算相似度,并确定最终识别结果。

2.1 主元分析与聚类

设数据库中的规一化人脸图像集合为 $X = \{x_1, \dots, x_N\}$, 其中 x_i 表示第 i 个训练图像,图像的像素数为 M 。记图像的平均值为 \bar{x} , 则该集合的协方差矩阵为:

$$\Sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})^T \quad (1)$$

利用奇异值分解(SVD)可以得到一组最大本征值及其对应的本征向量($u_i, i=1, \dots, K$),称为本征脸^[4],这组本征向量张成的子空间为本征脸子空间。图 2 为平均人脸和前 5 个本征脸的结果。

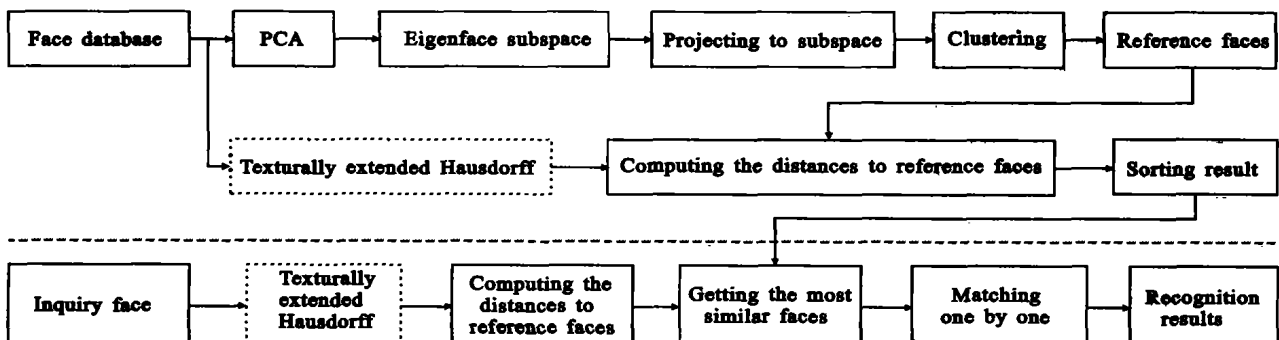


图 1 算法结构图(虚线上方为训练部分,下方为识别部分)

Fig. 1 Algorithm diagram(training above the dash line, recognition below it)



图 2 平均人脸和前 5 个本征脸

Fig. 2 The average face and the first 5 eigenfaces

将人脸图像投影到本征脸子空间,得到对应降维特征向量。将 X 投影到本征脸子空间,得到对应的特征向量集合 $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$, 其中:

$$y_i = [x_i \cdot u_0 \dots x_i \cdot u_K]^T \quad (2)$$

对投影向量集合 Y , 利用 ISODATA 算法进行聚类, 每类代表一组典型人脸, 并取与每个聚类中心 $F = \{f_1, \dots, f_R\}$ 最接近的投影对应的人脸作为参考脸。

2.2 基于纹理增强 Hausdorff 距离的人脸识别

在传统 Hausdorff 距离^[5]的基础上,提出了融合局部纹理的增强 Hausdorff 距离:

$$D(a, b) = \|a - b\| - \alpha \cdot S'(J_a, J_b) \quad (3)$$

$$d(a, B) = \max_{b \in N_B^a} (I \cdot \min D(a, b), (1 - I) \cdot P) \quad (4)$$

$$h(A, B) = \frac{1}{N_a} \sum_{a \in A} d(a, B) \quad (5)$$

$$H(A, B) = \max\{h(A, B), h(B, A)\} \quad (6)$$

式中 J 表示纹理特征向量 (Jet); $S'(\cdot)$ 表示纹理相似度, 定义为规一化内积; a 和 b 分别属于 A 和 B ; N_a 表示 A 中元素个数; N_B^a 表示邻域范围。考虑到人脸整体形状相似, 差别主要存在于局部, 对应点必须落在邻域范围内 (此时 $I = 1$), 否则施以惩罚 P (此时 $I = 0$)。这可以有效地降低噪声和干扰。 a 和 b 的“距离”是由其位置差和纹理相似度共同决定的, 用公式 (3) 表示。

3 排序结构的建立

设参考脸集合为 $F = \{f^1, f^2, \dots, f^R\}$, 人脸 x_i 与 f_j 的距离为:

$$d_{ij} = H(x_i, f_j) \quad (7)$$

对每个参考脸 f_j , 得到所有 x_i 与它的距离 d_{ij} 。根据 d_{ij} 按图 3 所示方式对 x_i 排序: 左侧人脸表示参

考脸 f_j ; 直线各点表示与 f_j 的距离; 直线上方人脸表示 x_i , 它位于直线上 d_{ij} 处; 下方为查询人脸 x' , 根据 x' 与 f_j 的距离可以确定它在排序线上的位置。可以证明, 相似人脸在该直线上的位置必然接近。

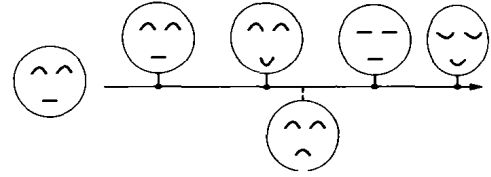


图 3 与参考人脸相似度的排序示意图

Fig. 3 Sketch map of the similarity sorting with one reference face

利用每个参考脸生成一个排序, 则全部参考脸可建立一个 R 维排序空间。每个训练样本对应其中某点 (o_{i1}, \dots, o_{iR}) , o_{ij} 表示第 i 个样本相对第 j 个参考脸的排序; 对应的相似度向量为 (d_{i1}, \dots, d_{iR}) 。图 4 为只有两个参考脸时的情形。

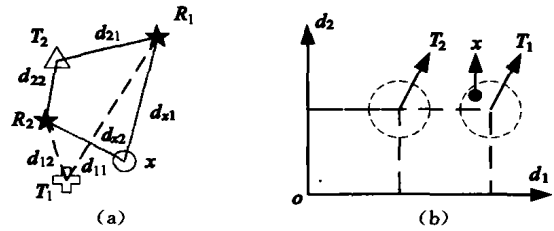


图 4 两个参考脸情况下的排序空间示意图

Fig. 4 Sketch map of the sorting space with two reference faces

图中 R_1, R_2 为参考脸, T_1, T_2 为训练样本, d_{ij} 为间距, 其中 $i, j = 1, 2$ 。基于 R_1, R_2 的排序空间及 T_1, T_2 在其中的位置, 如图 4(b) 所示。为确定图 4(a) 中查询人脸 x 的类属, 不用计算它与每个训练样本 (很多) 的距离, 只需计算它与参考脸 (很少) 的距离, 即可在图 4(b) 所示的排序空间中确定其类属, 因而可提高速度。

4 确定最相似人脸

对待识别人脸, 首先检测双眼并规一化, 得 x^* ; 然后计算 x^* 与各个 f_j 的相似度, 得到相似度向量 $(d_1^*, \dots, d_R^*) = d^*$; 根据 d^* 可确定 x^* 在排序空间的位置 $(o_1^*, \dots, o_R^*) = O^*$, 如图 4(b) 所示。下面介绍如何获取最相似人脸 (设最相似人脸期望个数为 M , 参考脸数目为 R):

- (1) 最小邻域半径为 $r = \lceil M/R/2 \rceil$ 。

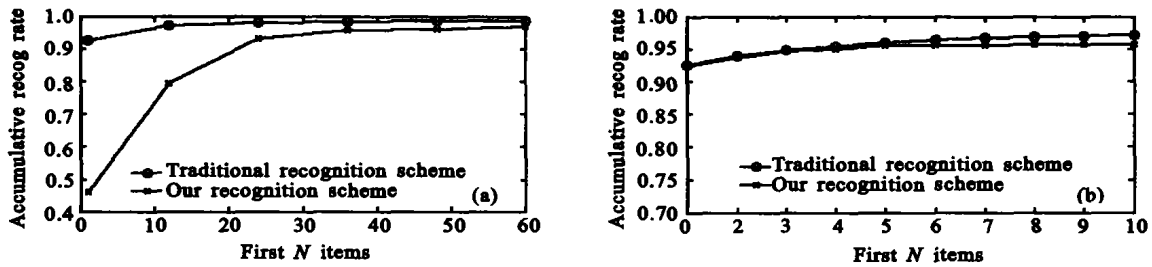


图 5 该识别策略与传统识别策略的性能比较(a)前 N 项包含正确识别结果的概率之比(b) M 取 36 时累计识别率比较

Fig. 5 Comparison between traditional recognition scheme and our scheme (a), Rates of including correct result in first N items (b), Accumulative recognition rates when $M=36$

(2) 初始化检索结果 $t=0$; 建立空结果链表。

(3) 在每个参考脸 f_j 的排序中, 根据 x^* 的序号 o_j^* 及半径 r 获取相邻人脸样本 T 。搜索结果链表, 如果 T 已存在, 可以忽略; 若不存在, 则考察 T 在排序空间的位置, 如果某个分量与 o_j^* 的距离(序号之差)大于 r , 可以忽略; 否则计算 x^* 与 T 的距离, 并按距离大小添加到结果列表中, 检索结果 $t=t+1$ 。

(4) 如果 $|t-M| \leq [R/2]$, 检索结束; 否则, 令 $r=r+1$, 按第(3)步继续对新样本进行处理, 直到满足 $|t-M| \leq [R/2]$ 。

采用序号差而非相似度差的原因为: (1) 可以为聚类结果的参考脸分布基本均匀并具有同等重要性; (2) 可以克服不同 f_j 对应的相似度值尺度不一致的问题; (3) 可采用快速搜索算法提高检索速度。

最后, 根据最相似人脸, 再计算待识别人脸与其各自的相似度以确定最终识别结果。

5 实验结果

利用 AR、ORL、Yale 等人脸数据库^[6], 并从 Internet 搜集大量中国人脸图像建立了自己的数据库, 包括 2 000 多个参考人及 500 多个测试人脸。实验中取前 40 个本征脸, 通过 ISODATA 聚类获得 12 个代表脸。取不同期望值 M 测试, 前 12、24 和 36 项中含正确识别结果的概率达 80%、93% 和 95%, 如图 5 (a) 所示。取 M 值为 36 时算法与逐一比较策略累计识别率结果见图 5 (b), 显然方法只有轻微下降, 尤其在最前面几项内。

在速度方面, 待识别人脸与每个数据库人脸比较约需 1.0 s, 其中计算 Jets 需 0.8 s, 匹配需 0.2 s。即使 Jets 的计算已离线完成(将占用大量存储空间),

2 000 次匹配约需 7 min, 难以满足实用性要求。本算法 Jets 计算可离线完成, 计算与参考脸相似度只需 2.4 s, 而在排序空间的搜索非常快, 只需几十毫秒, 与 36 个最相似人脸逐个比较需 36 s, 共需时间约为 40 s, 提高了识别速度和实用性。

6 结论

提出了一种基于参考脸相似度排序的高效人脸识别新策略。它利用训练样本与一组选定参考脸的相似程度建立一个相似度排序空间, 在识别时只需计算待识别人脸与这组参考脸的相似度, 即可在排序空间获取与其最相似的人脸集合, 然后再在这组人脸中逐一计算与待识别人脸相似度, 确定最终识别结果。该算法极大地提高了识别速度, 满足了人脸识别实用性的要求, 同时可以保证识别性能仅有轻微的下降。算法对那些计算复杂的人脸识别方法特别有效, 扩大了实用性人脸识别系统可选择的基本识别方法的范围。

参考文献:

- [1] Chellappa R, Wilson C L, Sirohey S. Human and machine recognition of faces: a survey[J]. Proc IEEE, 1995, 83(5):705-740.
- [2] 蒋明, 张桂林, 陈其杰. 具有学习功能的自动人脸识别[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(4):256-260.
- [3] 凌旭峰, 杨杰, 叶晨洲. 基于支撑向量机的人脸识别技术[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(5):318-322.
- [4] 边肇祺, 张学工. 模式识别[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [5] Guo Baofeng, Lam Kin-Man, Lin Kwan-Ho, et al. Human face recognition based on spatially weighted Hausdorff distance[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(1-3):499-507.