

基于多层次验证的指纹细节点对获取算法

梅园

(南京信息工程大学江苏省网络监控中心 南京 210044)

(南京信息工程大学计算机与软件学院 南京 210044)

(南京航空航天大学计算机科学与技术学院 南京 210016)

摘要 获取正确的细节点对是指纹匹配中一个关键的问题。已有工作基于已获得的初始细节点对,通过构建局部拓扑结构进行单层次验证以期获得更正确的细节点对,但该工作对于由错误细节点对而产生的负面影响,鲁棒性较弱。为此提出了一种基于多层次验证的指纹细节点对获取算法,其主要改进为:将单层次验证划分为一级、二级验证两个层次;增加了补充验证过程。实验结果表明:改进方案增强了鲁棒性,提高了对细节点对去伪存真的正确率,时间复杂度约为前者的2倍。

关键词 自动指纹识别,指纹匹配,多层次验证

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Acquisition of Fingerprints' Minutiae Pairs Based on Multi-layers Validation

MEI Yuan

(Jiangsu Engineering Center of Network Monitoring, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

(School of Computer & Software, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract Acquisition correct minutiae pairs are very important for fingerprint matching. In order to obtain more correct minutiae pairs, the previous work constructed the local topological structure based on the obtained initial minutiae pairs set to perform the single layer validation, however, it is not robust to the negative effect caused by the false minutiae pairs. In this paper, a Fingerprints' minutiae pairs acquisition method based on multi-layers validation was proposed. The main improvements are dividing the single layer validation into two layers validation, adding a supplementary validation. All experiments show that the improved method strengthens the robustness and promotes the correctness, but the time complexity is about twice higher than the previous work.

Keywords AFIS, Fingerprint matching, Multi-layers validation

1 引言

指纹匹配简言之就是通过对来自两幅指纹图像的特征集进行相似性比较,来判断它们是否来自于同一枚手指的过程,其作为自动指纹识别系统中最后一个环节,在该系统中发挥了关键且不可替代的作用。

目前已有大量的指纹匹配算法被提出,其中基于点模式的匹配是研究最为活跃、应用最为广泛的指纹匹配方法。该方法将指纹脊线的端点和分叉点构成细节点集,然后通过寻找细节点集之间的相似度来识别指纹。此类方法所面临的主要难点包括:刚性形变、弹性形变、部分重叠、特征集不可靠等。

基于点模式的指纹匹配,其核心在于获得细节点集之间正确的细节点对。对于该问题的研究,近些年,主流的思路是通过构造细节点局部特征来进行的。宏观地讲,细节点局部

特征可以分为两类:①基于细节点之间的特征:文献[1]将细节点和与之距离最近的5个细节点建立了一种类似星形的结构特征。文献[2]针对缺损的指纹图像进行了研究,利用细节点以及与之距离最近的2个点建立了特征矢量,以降低缺损带来的影响,同时尽可能保证良好的区分能力。文献[3-5]利用细节点建立了不同的三角形结构特征,以降低指纹形变对识别带来的影响。文献[6,7]为每个细节点构造了一种称为 Minutia Cylinder-Code(MCC)的圆柱体状特征,该圆柱体的底和高分别描述了当前细节点与预定半径内细节点之间的位置和方向信息,实验验证了该特征在指纹匹配与检索中的有效性。②细节点与增补采样点之间的结构特征主要分为两种:i)针对相关脊线进行增补采样所构造的局部特征,如文献[8]直接对细节点所属的脊线进行采样,利用脊线上的采样点与细节点之间的距离和角度构建局部结构特征。文献[9]考虑了细节点邻域内4个采样点的方向信息以及6条脊线数,

到稿日期:2013-03-29 返修日期:2013-06-17 本文受国家自然科学基金(61206138),中国博士后基金(20110491413),江苏省高校基金(11KJB520012),江苏省博士后基金(1102051C),江苏高校优势学科建设工程资助项目资助。

梅园男,主要研究方向为图像处理、机器学习,E-mail:chinameiyuan@126.com。

建立了旋转且平移不变的邻接特征矢量。文献[10]提出了累积的方向差异特征(SOD)用于匹配。文献[11]通过描述细节节点间的脊线特征信息(包含脊线数、脊线长度、脊线弯曲方向及脊线类型等)进行识别。该类方法还有文献[12,13]等。ii) 基于圆形网状结构进行增补采样所构造的局部特征,如文献[14]在以细节节点为中心的不同半径的圆周上进行采样,将采样点的方向信息进行排列,得到了区分能力良好的细节节点特征。文献[15]讨论了文献[14]中存在的旋转相关问题,给出了一种改进的相似度计算方法。

如上所述,为获取正确的细节节点对,已有绝大部分的相关工作采取构造各种新的细节节点局部特征,然后直接计算一种或多种细节节点局部特征相似度来直接获取细节节点对。不同于前面的工作思路,文献[16]在前面工作已获得的细节节点对集合的基础上,通过构造细节节点对的局部拓扑结构来进行进一步的验证,获得了正确率更高的细节节点对集合,其本质相当于增加了一个后处理的过程,为前面工作提供了一个较为有效的补充,从另一个角度看,该工作也减轻了前面工作的压力。鉴于该工作只进行了一次验证,本文将其称为单层次验证。

基于文献[16]的研究及实验,本文发现单层次验证的鲁棒性有待增强,具体表现为:(1)错误细节节点对会在验证过程中产生负面影响,尤其在错误细节节点对较多的情况下,往往会导致正确细节节点对由于其拓扑结构中包含较多的错误细节节点对而不能通过验证,此时单层验证较难解决这个问题;(2)单层验证对于原本正确但未通过验证的细节节点对没有提供弥补的措施。鉴于此,本文提出了一种基于多层次验证的指纹细节节点对获取算法,旨在在进一步提高获取指纹细节节点对的正确性。

2 基于多层次验证的指纹细节节点对获取算法

文献[16]提出的单层次验证可以用图 1(a)表示,在该图中, $InitialMP_Set$ 表示基于细节节点局部特征获取的初始细节节点对集合, $ValidatedMP_Set$ 表示验证后所获得的最终细节节点对集合。

本文提出了多层次验证模式(如图 1(b)所示),相对于单层次验证模式,其改进主要体现在如下两个方面:

(1)将原单层次验证拓展为一级、二级两个验证层次。对于该改进措施,其解释为:针对初始细节节点对集 $InitialMP_Set$ 的进一步验证往往是通过构建细节节点对之间的空间拓扑结构来进行的(如图 2 所示)。在此情况下,错误的细节节点对就会对验证产生负面影响,尤其当 $InitialMP_Set$ 中错误细节节点对较多的时候,往往会使原本正确的细节节点对由于其拓扑结构中包含较多的错误细节节点对,导致其不能通过验证。事实上,仅通过计算一种或多种细节节点局部特征相似度来直接获取的初始细节节点对集 $InitialMP_Set$,不可避免地存在错误细节节点对,尤其在期望将所有正确的细节节点对加入到 $InitialMP_Set$ 中的情况下,错误细节节点对数将会更多。为此,本文将单层次验证改进为两个层次的验证,其中,一级验证旨在通过较为宽松的验证条件尽可能去除 $InitialMP_Set$ 中的错误细节节点对并保留正确的细节节点对,此时的结果为 $First_ValidatedMP_Set$;

然后通过增强验证条件,进行二级验证,由于 $First_ValidatedMP_Set$ 相对于 $InitialMP_Set$,其错误细节节点对的数量已大为减少,因此在经过二级验证之后所获得的 $Second_ValidatedMP_Set$ 集合中,正确细节节点对的比例很高。

(2)增加了补充验证过程。在单层次验证过程中,对于 $InitialMP_Set$ 中原本正确但没有通过验证的细节节点对,该算法是无能为力的。在多层次验证过程中,本文增加了补充验证过程(如图 1(b)所示)。该过程对 $InitialMP_Set2$ 中的所有细节节点对($InitialMP_Set2$ 是 $InitialMP_Set$ 的子集,是未通过前两级验证的细节节点对集合),基于 $Second_ValidatedMP_Set$ 中已通过验证的细节节点对再次构造拓扑结构进行补充验证,对通过补充验证的细节节点对,将其增补到 $Supplement_ValidatedMP_Set$ 中。最后合并 $Supplement_ValidatedMP_Set$ 、 $Second_ValidatedMP_Set$ 形成最终的 $ValidatedMP_Set$ 。

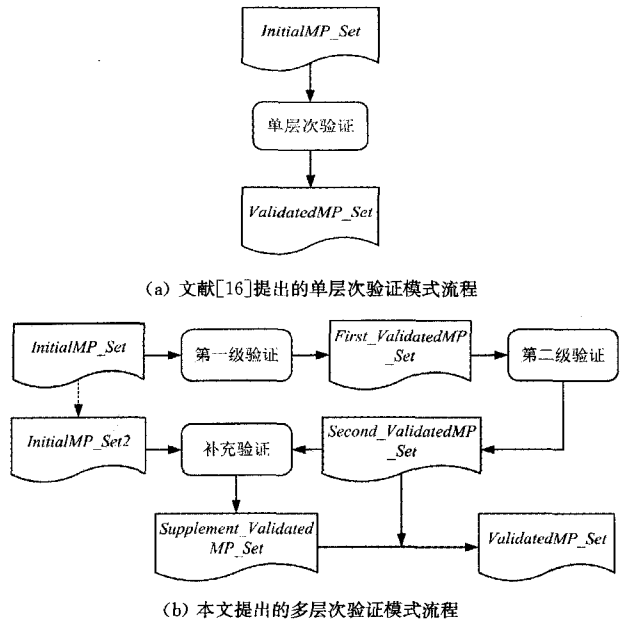


图 1 单层次验证模式及多层次验证模式流程



图 2 粗糙细节节点集中的对应点对构造相邻局部特征向量的示意图

图 2 粗糙细节节点集中的对应点对构造相邻局部特征向量的示意图

3 实现过程

对于一幅指纹图像,本文将抽取的特征集表示为:

$$Feature_Set = \{ (x_{p1}, y_{p1}, \theta_{p1}, OMD(p_1)), (x_{p1}, y_{p1}, \theta_{p1}, OMD(p_2)), \dots, (x_{pN}, y_{pN}, \theta_{pN}, OMD(p_N)) \}$$

式中, x_{pk} 、 y_{pk} 、 θ_{pk} 分别表示细节节点 p_k 的横坐标、纵坐标及方

向角度, $OMD(p_k)$ 表示细节点 p_k 的方向描述子, N 表示细节点个数。

在本文算法中, 对当前输入的指纹图像提取的特征点集 $Feature_Set_Input$ 及来源于指纹库中第 i 幅指纹图像的特征点集 $Feature_Set_Temp(i)$, 其初始细节点对集合 $InitialMP_Set$ 是通过度量两个特征点集中每两个细节点之间的 OMD 相似度来获取的, 详细过程可参阅文献[15]。

以下将依据图 1(b) 的多层次验证流程图, 详细阐述每个步骤的具体内容。

(I) 一级验证

对于 $InitialMP_Set$ 中的第 1 对细节点对 (a, b) , 其中 a 、 b 分别为来自于 $Feature_Set_Input$ 、 $Feature_Set_Temp(i)$ 中的第 a 个、第 b 个细节点。

Step1 利用 a 细节点以及位于 $Feature_Set_Input$ 中距离 a 细节点最近的 M 个细节点, 构造细节点 a 的相邻局部拓扑结构:

$$Loc_Neighbor(a) = \{(d_1, \delta_1), (d_2, \delta_2), \dots, (d_M, \delta_M)\}$$

式中, d_i 表示细节点 a 与其距离第 i 近的细节点之间的欧氏距离, δ_i 表示该相邻点与细节点 a 之间的方向场角度差。对细节点 b , 将其与细节点 a 的 M 个相邻点的对应点一起按照相同方法构造相邻局部拓扑结构, 例如, a 细节点的 M 个最近细节点为 a_1, a_2, \dots, a_M , 这 M 个细节点在 $Feature_Set_Temp(i)$ 中的对应点为 b_1, b_2, \dots, b_M , 则细节点 b 局部拓扑结构:

$$Loc_Neighbor(b) = \{(d'_1, \delta'_1), (d'_2, \delta'_2), \dots, (d'_M, \delta'_M)\}$$

就是由细节点 b 及 b_1, b_2, \dots, b_M 一起构成的(图 2(a)、(b) 分别给出了一组验证成功、验证失败的细节点对)。

Step2 设置 $Count = 0$, 分别验证 $Thre_{1_{dis}} \leq \frac{d_j}{d_j'} \leq Thre_{2_{dis}}, |\delta_j - \delta_j'| \leq Thre_{ang}, 1 \leq j \leq M$, 是否同时成立, 若成立, $Count = Count + 1$ 。若 M 组验证之后, $Count \geq Thre_M$, 则将细节点对 (a, b) 加入 $First_ValidatedMP_Set$ 。

Step3 重复 Step1、Step2 直至 $InitialMP_Set$ 所有细节点对验证完毕。

(II) 二级验证

相对于一级验证, 该过程的主要区别在于: (a) 验证的输入由 $InitialMP_Set$ 改变为 $First_ValidatedMP_Set$; (b) 验证中 M 、 $Thre_{1_{dis}}$ 、 $Thre_{2_{dis}}$ 、 $Thre_M$ 等参数进行了重新调整, 尤其是后 3 个阈值参数, 将变得更为严格。通过该二级验证的细节点对将加入 $Second_ValidatedMP_Set$ 。

(III) 补充验证

该过程与一级、二级验证的核心思路基本相同, 其主要区别在于: (a) 验证的输入为 $InitialMP_Set2$ (即未通过前两级验证的细节点对集合); (b) 在构造 $InitialMP_Set2$ 集合中细节点对的局部拓扑结构时, 选取的最近 M 个细节点必须来源于 $Second_ValidatedMP_Set$ (即已经通过前面两级验证的细节点); (c) 验证中 M 、 $Thre_{1_{dis}}$ 、 $Thre_{2_{dis}}$ 、 $Thre_M$ 等参数进行了重新调整。通过该补充验证的细节点对将被加入到 $Supple-$

$ment_ValidatedMP_Set$ 。

至此, 本算法中的 3 个验证步骤(具体分步骤结果如图 3 所示) 阐述结束, 最终将二级验证的结果 $Second_ValidatedMP_Set$ 和补充验证的结果 $Supplement_ValidatedMP_Set$ 进行合并就可以得到本算法的最终结果 $ValidatedMP_Set$ 。

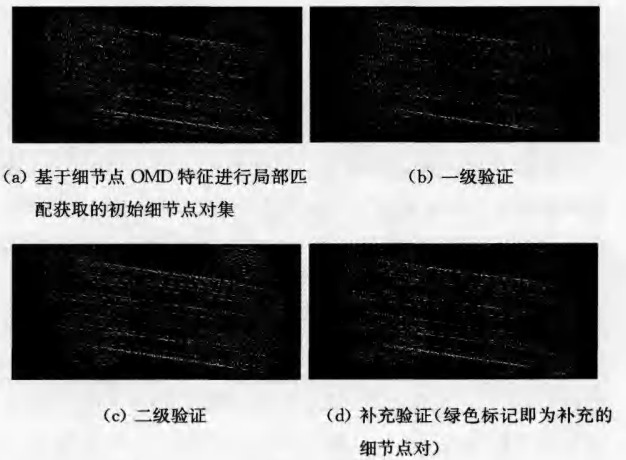


图 3 本文算法的分步骤结果

4 实验结果与分析

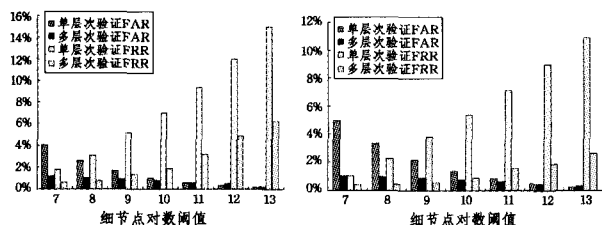
为了验证本文提出的多级验证算法的有效性, 最直接的方法就是人工判别及统计本文算法及文献[16]算法对指纹库中每两幅指纹图像间匹配正确的细节点对数及错误的细节点对数。但该工作量实在过于庞大, 为此本实验采取了一个间接的方式: 将最终细节点对集合中细节点对个数与预设阈值做比较, 若大于或等于预设阈值则判断两幅图像源于同一个手指, 否则不是; 将误识率(False Accept Ratio, 即, 将来自不同人的指纹判定为匹配的概率)和拒识率(False Reject Ratio, 即, 将合法用户判定为不匹配的概率)作为性能评价指标, 通过对误识率和拒识率的比较分析来反映算法的识别准确性。本实验在 FVC2002 DBA 的 DB1、DB2 指纹库上进行。

图 4 所示为本次实验数据的柱状对比结果, 实验结果表明:

(1) 多层次验证的拒识率明显低于单级验证模式。该结果表明, 相对于单层次验证, 多层次验证提高了对错误细节点对负面影响的鲁棒性, 能更好地让初始细节点对集 $InitialMP_Set$ 中原本正确的细节点对通过验证, 提高了存真的准确性。

(2) 在阈值较低时(DB1 阈值 ≤ 10 ; DB2 阈值 ≤ 11), 多层次验证的误识率低于单层次验证; 在阈值较大时, 多层次验证的误识率略高于单层次验证。对此, 本文的解释为: 绝大多数来自于不同手指的指纹图像间的相似度较低(在本实验中表现为通过验证的细节点对数较少), 在阈值较低时多层次验证的误识率低于单层次验证, 表明多层次验证较之单层次验证具有更好的去伪效果; 而对于极少部分虽来自于不同手指但相似度较高的指纹图像, 多层次验证中的补充验证过程发挥了较大作用, 使得部分错误的细节点对被误加入到最终细节

点对集合中,产生部分负面作用。



(a) DB1 对比实验结果

(b) DB2 对比实验结果

图4 多层次验证与单层次验证^[16]在FVC2002 DBA DB1、DB2的对比实验结果

基于实验结果的观察和整体分析可知:基于多层次验证的指纹细节点对获取算法与文献[16]提出的单层次验证相比,对初始细节点对集去伪存真的正确率更高。但是,多层次验证的时间复杂度也会比单层次验证更高,实验结果表明,前者约为后者的2倍。

结束语 已有的相关工作主要是通过构造鉴别力强的指纹细节点局部特征,然后直接计算细节点局部特征相似度来获取细节点对。文献[16]在此基础上,通过构造基于已获取细节点对的局部拓扑结构来进行进一步验证,提高了细节点对的正确率。针对文献[16]的单层次验证对错误细节点对的负面影响鲁棒性较弱的缺点,提出了一种基于多层次验证的指纹细节点对获取算法,并通过实验验证了该工作的有效性。

参考文献

[1] Wahab A, Chin S H, Tan E C. Novel approach to automated fingerprint recognition[J]. IEE Proc. Vis Image Signal Process, 1998, 14(3): 160-166

[2] Jea T-Y, Govindaraju V. A minutia-based partial fingerprint recognition system[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(10): 1672-1684

[3] Kovács-Vajna M Z. A fingerprint verification system based on triangular matching and dynamic time warping[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1266-1276

[4] Chen Xin-jian, Tian Jie, Yang Xin, et al. An Algorithm for Distorted Fingerprint Matching Based on Local Triangle Feature

Set[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1(2): 169-177

[5] Bebis G, Deaconu T, Georgiopoulos M. Fingerprint identification using Delaunay triangulation[C]// Proc. of IEEE International Conference on Information Intelligence and Systems. 1999: 452-459

[6] Cappelli R, Ferrara M, Maltoni D. Minutia Cylinder-Code: A New Representation and Matching Technique for Fingerprint Recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(12): 2128-2141

[7] Cappelli R, Ferrara M, Maltoni D. Fingerprint Indexing Based on Minutia Cylinder-Code[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(5): 1051-1057

[8] 罗希平, 田捷. 自动指纹识别中的图像增强和细节点匹配算法[J]. 软件学报, 2002, 13(5): 946-956

[9] Tong Xi-feng, Huang Jian-hua, Tang Xiang-long, et al. Fingerprint minutiae matching using the adjacent feature vector[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26: 1337-1345

[10] Zhu En, Yin Jian-ping, Zhang Guo-min. Fingerprint matching based on global alignment of multiple reference minutiae[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(10): 1685-1694

[11] Choi H, Choi K, Kim J. Fingerprint Matching Incorporating Ridge Features With Minutiae[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2011, 6(2): 338-345

[12] Cao Kai, Yang Xin, Chen Xin-jian, et al. Minutia handedness: A novel global feature for minutiae-based fingerprint matching[J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33: 1411-1421

[13] Jiang Xiu-bao, You Xin-ge, Yuan Yuan, et al. A method using long digital straight segments for fingerprint recognition[J]. Neurocomputing, 2012, 77: 28-35

[14] Tico M, Kuosmanen P. Fingerprint Matching Using an Orientation-Based Minutia Descriptor[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(8): 1009-1014

[15] 梅园, 曹国, 孙怀江, 等. 基于改进的 Orientation_based Minutia Descriptor 指纹检索算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(2): 274-279

[16] Kisel A, Kochetkov A, Kranauskas J. Fingerprint Minutiae Matching without Global Alignment Using Local Structures[J]. Informatica, 2008, 19(1): 31-44

(上接第 298 页)

[5] 李秉祥, 扈文秀. 基于期权理论的上市公司财务危机动态预测方法研究[J]. 管理评论, 2004, 16(4): 54-58

[6] 王克敏, 姬关光. 基于财务与非财务指标的亏损公司财务预警研究[J]. 财经研究, 2006, 32(7): 63-72

[7] 刘国光, 王慧敏, 张兵. 考虑违约距离的上市公司危机预警模型研究[J]. 财经研究, 2005, 31(11): 59-67

[8] 曹德芳, 夏好琴. 股权结构变量对企业财务危机影响的实证研究[J]. 东北大学学报, 2006, 8(1): 31-34

[9] 柏丙林, 吕峻. 基于不同指标类型的财务危机预测模型比较[J]. 开放导报, 2008(2): 96-101

[10] Da Z, Engelberg J, Gao P. In Search of Attention[J]. The Journal of Finance, 2011, 66(5): 1461-1499

[11] Li N, Wang C. Financial Volatility Forecasting Based on Inter-company Connections and Support Vector Machine[C]// Pro-

ceedings of 2007 Journal Publication Meeting, Pre-Conference Meeting on Risk Management and Engineering Management. Toronto, Canada, 2007: 112-118

[12] 王超, 李楠, 李欣丽, 等. 倾向性分析用于金融市场波动率的研究[J]. 中文信息学报, 2009, 23(1): 95-99

[13] <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>

[14] Thanh-Nghi D, Fekete J D. Large Scale Classification with Support Vector Machine Algorithms[C]// Sixth International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA2007. Dec. 2007

[15] Bian H R, Wan C X, Li G L, et al. Chinese Morpheme-based Emotion Detection on Financial Securities Information[J]. Journal of Convergence Information Technology, 2012, 7(20): 406-418

[16] Vapnik V N. 统计学习理论的本质[M]. 张学工, 译. 北京: 清华大学出版社, 1999: 177-198