



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2013
12
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像分割 P1610



第18卷第12期（总第212期）

2013年12月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

2013 all rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

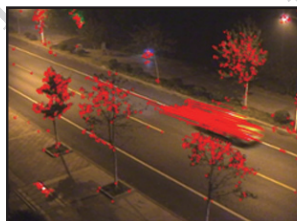
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

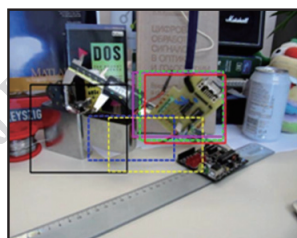
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

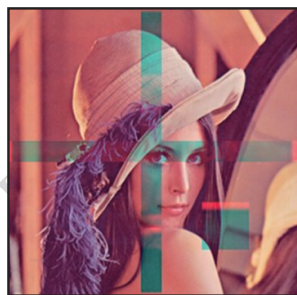
国内定价 50.00元



稀疏光流快速计算的动态目标
检测与跟踪(第1593页)



字典学习联合粒子滤波鲁棒跟踪
(第1628页)



结合SURF特征的多功能彩色
图像水印算法(第1694页)

图像处理和编码

小波子带最优方向性选择和压缩感知的图像编解码

王相海, 程露露, 周夏, 宋传鸣

1551

基于位平面和HVS的信息隐藏算法

张海涛, 姚雪, 陈虹宇, 张晔

1559

混沌密钥调制DFRFT旋转因子的视频加密

金建国, 王乐, 魏明军, 苏晶晶

1567

图像分析和识别

PCA-NLM的纺织品缺陷检测

杨学志, 左海琴, 陈远, 吴克伟, 谢昭

1574

基于主动表观模型姿态矫正和局部加权匹配人脸识别

赵恒, 俞鹏

1582

指纹拓扑模式构建及其在识别中的应用

仲伟波, 吕园, 李敏敏

1587

稀疏光流快速计算的动态目标检测与跟踪

陈添丁, 胡鉴, 吴涤

1593

边缘与灰度检测相结合的场景图像文本定位

何立强, 刘浩, 陈永

1601

Mean Shift图像分割算法的并行化

李宏益, 吴素萍

1610

混合高斯模型的自适应前景提取

李百惠, 杨庚

1620

字典学习联合粒子滤波鲁棒跟踪

查绎, 曹铁勇, 黄辉, 潘竟峰, 尤峻

1628

图像理解和计算机视觉

仿生复眼式全景探测及跟踪策略

罗超, 赵美蓉, 王东, 曹克雄

1637

医学图像处理

利用感兴趣区域从脑部MRI中提取脑组织

江少锋, 万红平, 陈震, 杨素华

1644

“第十届全国智能CAD与数字娱乐会议”专栏

基于Hermite插值的网格拼接和融合

缪永伟, 林海斌, 寿华好

1651

计算机生成中国传统祥云动画

方建文, 彭初, 于金辉

1660

森林动态演替现象的可视化模拟

单梁, 杨刚, 黄心渊

1666

多特征证据理论融合的视觉词典构建

沈项军, 高海迪, 曾兰玲, 毛启容, 詹永照

1676

轨迹和多标签超图配对融合的视频复杂事件检测

柯佳, 詹永照, 陈潇君, 汪满容

1684

结合SURF特征的多功能彩色图像水印算法

朱光, 师文, 朱学芳, 郝世博

1694

采用邻域直方图匹配的矢量纹理图案合成

徐婵婵, 杨刚

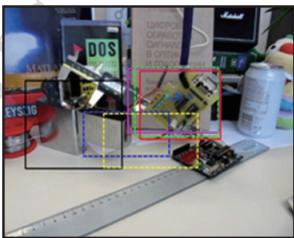
1703

CONTENTS

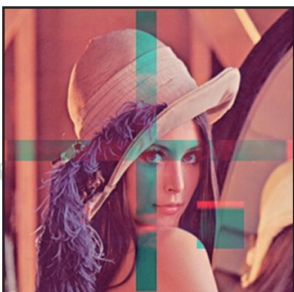
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Dynamic target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow (P1593)



Object tracking based on learning a dictionary joint practical filter(P1628)



Multi-purpose watermark algorithm of color images based on SURF(P1694)

Image Processing and Coding

Image codec research on the optimum directional selection of wavelet sub-band and compressed sensing

Wang Xianghai, Cheng Lulu, Zhou Xia, Song Chuanming 1551

Research of information hiding algorithm based on bit-plane and HVS

Zhang Haitao, Yao Xue, Chen Hongyu, Zhang Ye 1559

Video encryption based on chaotic key modulating DFRFT rotation factor

Jin Jianguo, Wang Le, Wei Mingjun, Su Jingjing 1567

Image Analysis and Recognition

Fabric defect detection based on PCA-NLM

Yang Xuezhi, Zuo Haiqin, Chen Yuan, Wu Kewei, Xie Zhao 1574

AAM-based alignment and local weighted matching method for face recognition

Zhao Heng, Yu Peng 1582

Fingerprint topological pattern construction and its application in recognition

Zhong Weibo, Lyu Yuan, Li Minmin 1587

Dynamic target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow

Chen Tianding, Hu Jian, Wu Di 1593

Text extraction from scene image based on edge and gray-scale detection collaboration

He Liqiang, Liu Hao, Chen Yong 1601

Parallelization of Mean Shift image segmentation algorithm

Li Hongyi, Wu Suping 1610

Adaptive foreground detection approach of Gaussian mixture model

Li Baihui, Yang Geng 1620

Object tracking based on learning a dictionary joint practical filter

Zha Yi, Cao Tiejong, Huang Hui, Pan Jingfeng, You Jun 1628

Image Understanding and Computer Vision

Bionic compound eye panoramic detection and tracking strategy

Luo Chao, Zhao Meirong, Wang Dong, Cao Kexiong 1637

Medical Image Processing

Automatic brain extraction from cerebral MRI volume using region of interest

Jiang Shaofeng, Wan Hongping, Chen Zhen, Yang Suhua 1644

Issum of CIDE' 2013

Mesh stitching and fusion based on Hermite interpolation scheme

Miao Yongwei, Lin Haibin, Shou Huahao 1651

Computer generation of cloud animation with a Chinese traditional style

Fang Jianwen, Peng Ren, Yu Jinhui 1660

Simulation of the dynamic evolution of spatial distribution of trees in the forest

Shan Liang, Yang Gang, Huang Xinyuan 1666

Visual dictionary construction method based on Dempster-Shafer evidence theory

Shen Xiangjun, Gao Haidi, Zeng Lanling, Mao Qirong, Zhan Yongzhao 1676

The video complex event detection method of matching integration between trajectory and multi-label hypergraphs

Ke Jia, Zhan Yongzhao, Chen Xiaojun, Wang Manrong 1684

Multi-purpose watermark algorithm of color images based on SURF

Zhu Guang, Shi Wen, Zhu Xuefang, Hao Shibao 1694

Vector texture pattern synthesis based on neighborhood histogram matching

Xu Chanchan, Yang Gang 1703

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)12-1587-06

论文引用格式: 仲伟波, 吕园, 李敏敏. 指纹拓扑模式构建及其在识别中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(12): 1587-1592. [DOI: 10.11834/jlg.20131206]

指纹拓扑模式构建及其在识别中的应用

仲伟波, 吕园, 李敏敏

江苏科技大学电信学院, 镇江 212003

摘要: 现有指纹识别算法对指纹图像质量要求较高, 特别是在变形指纹识别中鲁棒性不强。基于指纹特征属性和细节点、脊线拓扑关系的拓扑模式从整体到局部, 具备以拓扑性质为基础的不同层次的几何不变性, 在指纹变形中具有更高的鲁棒性。通过对指纹细节点、脊线属性及点、线拓扑关系的分析与计算, 构建了两类基于指纹细节点、脊线的拓扑模式, 实验结果验证了所构建的两类拓扑模式在指纹平移、旋转、缩放及轻微非线性变形中具有较高的鲁棒性, 可用于变形等低质量指纹图像的识别中。

关键词: 变形指纹识别; 拓扑模式; 指纹细节点; 脊线; 鲁棒性

Fingerprint topological pattern construction and its application in recognition

Zhong Weibo, Lyu Yuan, Li Minmin

School of Electronics and Information, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China

Abstract: Existing fingerprint identification algorithms require higher quality fingerprint image and they are not robust for transformed fingerprint recognition. The topology pattern, which is based on the fingerprint topological properties and relationships has different levels of geometric invariance from the complete image to the local image parts and has a higher robustness in recognizing deformed fingerprints. In this paper, two different topology patterns, which are based on the attributions and topological relationship among the fingerprint minutiae and ridges are constructed. The experiment results show that the two constructed topological patterns have strong robustness for the deformed fingerprint image and can be used very well with images of poor quality especially for the slightly transformed fingerprint recognition.

Key words: transformed fingerprint recognition; topological pattern; fingerprint minutiae; ridge line; robustness

0 引言

指纹识别是应用最为广泛的生物识别技术之一, 现有识别算法对指纹图像质量要求较高, 但在指纹成像及获取时存在平移、旋转、变形等情况, 严重影响现有指纹识别算法的精度和鲁棒性。基于指纹细节点、脊线属性和拓扑关系的拓扑模式从整体到局部, 具备以拓扑性质为基础的不同层次的几何不

变性, 受局部残缺、变形和不同视角成像影响较小^[1], 将拓扑模式用于指纹识别可提高其鲁棒性。

近年来, 已有学者注意到指纹细节点、脊线关系在识别中的重要性, 把指纹细节点、脊线的属性及其部分几何信息转化为指纹模式进行识别并取得了较好的效果^[2]。如将指纹脊线的旋转方向及与之相关的4个相对方向组成细节特征点的复合方向特征, 利用其进行细节特征点校准和匹配, 对于质量较差和轻微变形指纹匹配具有一定的效果。此法虽然

收稿日期: 2013-01-22; 修回日期: 2013-05-29

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程项目; 江苏省基础研究计划自然科学基金项目(BK2009623); 江苏省政府留学奖学金

第一作者简介: 仲伟波, (1975—), 男, 副教授, 2005年于中国矿业大学(北京)获地球探测与信息技术专业工学博士学位, 主要从事模式识别与智能系统、信号与信息处理研究。E-mail: vebopost@sohu.com

利用了细节特征点及其相连的脊线特征,但细节特征点与脊线间的拓扑关系没有得到充分利用^[3]。另外,用细节特征点及与其相连脊线、周围脊线构成局部结构,较好地解决了非线性变形对指纹识别的影响,但其局部结构中没有利用脊线自身属性,使用点关系描述脊线间关系也不够精准,匹配精度与鲁棒性受脊线采样间隔影响较大^[4]。文献[5]中的关联表虽可较准确地描述脊线之间的关系,但细节点与脊线间的关系没有被利用。文献[6—7]根据指纹片段中的奇异点或纹型重建方向场以减少匹配复杂度,提高片段指纹匹配的效率,但残缺变形指纹方向场有明显变化,且匹配分为细节点匹配、方向场匹配以及细化图匹配,在匹配模式上没有突破。

根据拓扑模式识别思想和指纹拓扑模式的几何不变性,在经增强、二值化、细化、脊线追踪弥合、细节点拾取及伪细节点去除等一系列预处理后的指纹图像上,构建了基于指纹细节点类型、脊线属性以及细节点与脊线间拓扑关系的指纹拓扑模式,并将所构建模式用于平移、旋转、缩放及非线性变形指纹的识别中。实验结果表明,所构建的指纹拓扑模式在指纹平移、旋转、缩放及轻微变形情况下具有较高的鲁棒性,可以用于变形等低质量指纹图像的识别中。

1 拓扑模式的构建

根据拓扑模式识别思想和对指纹图像的分析,分别构建了点拓扑模式及点线拓扑模式两种形式。

1) 点拓扑模式

点拓扑模式由中心细节点及距其最近的细节点构成,其模式可描述为

$$X = \{\alpha, (\beta, \gamma, \theta)_i \mid i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots\} \quad (1)$$

式中, α 、 β 为细节点类型; γ 为中心细节点与其邻近细节点之间的距离,用两细节点连线穿越的脊线数表示; θ 表示中心细节点与其邻近细节点连线间夹角。如图1所示,细节点之间的相对拓扑关系由 (β, γ, θ) 组成的环来表示,组成该环的邻近细节点个数越多,模式唯一性就越强,所描述的拓扑模式也就越精确,但是过多的邻近细节点需要更大的计算成本,由此带来的计算误差对模式稳定性也将产生更大的威胁。一般来说,点拓扑模式中邻近细节点个数只要不少于3个即可精确确定该模式且具有较好的稳定性。实际应用中一般根据整个指纹中可用特征点的个数确定邻近特征点个数,多取3~7个。

采用自适应的方法取不少于5个邻近细节点按逆时针方向构建该顺序环^[8]。

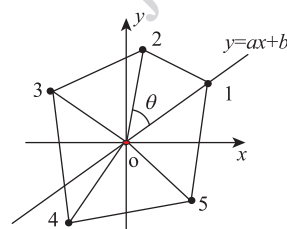


图1 细节点之间的拓扑关系

Fig. 1 The topological relationship among minutiae

指纹识别中若两个点拓扑模式相匹配,可认为这两个点拓扑模式中的中心细节点相匹配。任意两枚指纹,只要有8~12个细节点吻合,就可以认为两枚指纹属于同一个手指^[9]。

点拓扑模式中的细节点类型,在指纹预处理中提取细节特征点时获得,构建时仅需计算细节点连线穿越脊线数 γ 和周边细节点与中心细节点连线间夹角 θ , γ 和 θ 是根据获得的细节点坐标及脊线追踪、弥合时获得的脊线上像素点坐标计算的。

在表示两特征点间距离时,采用其连线穿越的脊线数而非欧氏距离,这在指纹变形时更具鲁棒性。

两细节点间连线穿越脊线数的计算如下:若两细节点 $a(x_a, y_a)$ 、 $b(x_b, y_b)$ 连线平行于 x 轴或 y 轴,以 x 步进或 y 步进获取连线上像素点坐标并判断其灰度值,若为黑点且未被保存则将其保存,若为白点则判断其8邻域^[10-11],若其8邻域内有未被保存的黑点且为非特征点则保存之,否则不予保存。当连线不平行坐标轴时,若 $\Delta x = |x_a - x_b| > \Delta y = |y_a - y_b|$ 则根据连线方程 x 步进,反之 y 步进。由于像素点坐标都是整数,对求得的坐标值需上、下取整,若取整后相等且为黑点,若未被保存则保存;若取整后相等且为白点则判断其8邻域,规则同上;若取整后不相等且有一个为黑点,则判断其是否被保存,若未保存则保存;若取整后不相等且都为白点则判断其10邻域,规则同上;不同步进时的10邻域如图2所示。最后通过获得的黑点坐标数据结合脊线数据进行连线穿越脊线数的计算。

连线间夹角通过三角形余弦定理计算,以中心细节点为原点建立平面直角坐标系,如图1所示,中心细节点 o 与其周边相邻两细节点 a 、 b 组成 $\triangle oab$ 。若 b 与 a 在同一象限或相邻象限,可由余弦定理直接求得 θ 。当 b 与 a 间隔一个象限时,由三角形余弦

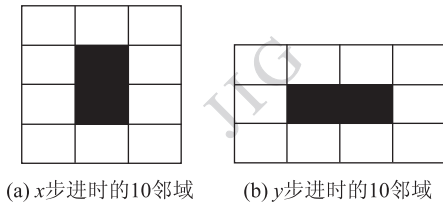


图2 不同步进时的10邻域示意图

Fig. 2 Ten fields sketch map in different stepping

定理计算夹角需判断 b 与直线 oa 的关系: oa 在第1及第4象限时, 若 b 在 oa 的上方, 可由余弦定理直接求得 θ , 若 b 在 oa 下方, θ 为 360° 减去由余弦定理求出的角度; oa 在第2及第3象限时, 若 b 在 oa 上方, θ 为 360° 减去由余弦定理求出的角度, 若 b 在 oa 下方, 可由余弦定理直接求得 θ 。当 b 与 a 相隔两个象限时, θ 为 360° 减去由余弦定理求出的角度。

点拓扑模式构建时从与 x 正半轴夹角最小的细节点开始按逆时针夹角递增顺序进行环的构建。若多个细节点在同一条射线上, 则根据细节点到中心细节点的距离决定细节点在环中的位置, 距原点远的在前, 距原点近的在后, 环中各元素的顺序即为各点的几何拓扑关系。

2) 点线拓扑模式

点线拓扑模式由细节点及与其相连的脊线组成, 其模式可描述为

$$RCR = \{TypeID, N, (\alpha, C, Mtne, Rol)_i | i = 1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

式中, $TypeID$ 为类型标识, 0 表示以叉点为中心的叉点模式, 1 表示一条脊线与 2 个端点组成的端点模式; N 为脊线数; α 表示脊线间夹角; C 为脊线的最小曲率半径; $Mtne$ 为脊线另一端的细节点类型; Rol 为脊线两端的细节点与最大曲率点连线长度比, 设两端点到最大曲率点的距离分别为 l_1 和 l_2 , 则 $Rol = \min(l_1/l_2, l_2/l_1)$ 。如图3所示, 指纹脊线拓扑关系由 $(\alpha, C, Mtne, Rol)$ 环来表示。

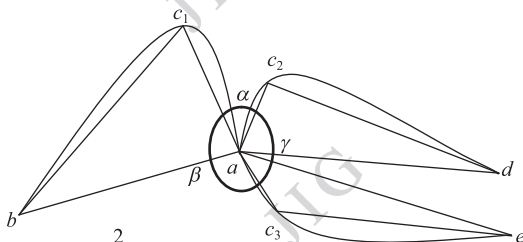


图3 细节点与脊线间拓扑关系

Fig. 3 The topological relationship among minutiae and ridges

指纹识别中若两个点线拓扑模式相匹配, 则表明这两个点线拓扑模式所表示的点线结构相匹配。若两指纹中有足够多的点线拓扑模式相匹配 (如 6~8 个), 则可判定此两枚指纹属于同一手指。

点线拓扑模式除需特征点类型及坐标、脊线坐标外, 还需计算脊线间夹角 α 、脊线最小曲率半径 C 及脊线两端点与最大曲率点连线的长度比 Rol 。在端点模式中, 脊线数 N 为 1, 脊线间夹角 α 为 0, 只需计算脊线 C 及 Rol 。在叉点模式中, 脊线数 $N \geq 2$, 需计算脊线间夹角、脊线 C 及 Rol 。

脊线 C 及 Rol 的计算是根据脊线上点坐标进行的, 由式(3)对脊线进行曲率半径计算并找到最小曲率半径点, 记此曲率半径为 C 。由脊线端点坐标及最大曲率点坐标可求 Rol 。

$$C = \min \left\{ \frac{\|R_{i1}\| \cdot \|R_{i2}\|}{\text{sgn}[\Delta x_1 \Delta y_2 - \Delta y_1 \Delta x_2] R_{i1} \cdot R_{i2}} \right\} \quad (3)$$

式中, 向量 $R_{i1} = (\Delta x_1, \Delta y_1) = (x_i - x_{i-5}, y_i - y_{i-5})$, $R_{i2} = (\Delta x_2, \Delta y_2) = (x_{i+5} - x_i, y_{i+5} - y_i)$, (x_i, y_i) 是点 P_i 的坐标; $R_{i1} \cdot R_{i2} = \Delta x_1 \Delta x_2 + \Delta y_1 \Delta y_2$, $\|R_{i1}\| = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta y_1^2}$, $\|R_{i2}\| = \sqrt{\Delta x_2^2 + \Delta y_2^2}$, 当 $\Delta x_1 \Delta x_2 - \Delta y_1 \Delta y_2 \geq 0$ 时为 1, 否则为 -1。

以叉点为圆心, 以 r 为半径 (r 与指纹图像规格有关, 令 $r=6$) 作圆, 此圆与脊线交点与叉点连线间夹角定义为脊线间夹角, 计算方法同点模式中连线夹角的计算方法。

对于由两端点和一条脊线构成的端点模式来说, 其模式结构比较简单, 仅表示了直接相连的细节点、脊线属性与拓扑关系。对于由叉点及与其相连的脊线构成的叉点模式来说, 需以叉点为原点建立平面直角坐标系, 以脊线与 $r=6$ 圆交点与叉点的连线与 x 正半轴夹角递增顺序形成点线模式中的环用以表示脊线间的拓扑关系。

2 拓扑模式的匹配

对于两个点拓扑模式 X_1 和 X_2 为

$$X_1 = \{\alpha_1, (\beta_1, \gamma_1, \theta_1)_i | i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots\}$$

$$X_2 = \{\alpha_2, (\beta_2, \gamma_2, \theta_2)_i | i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots\}$$

若环中元素 $(\beta_1, \gamma_1, \theta_1)$ 与 $(\beta_2, \gamma_2, \theta_2)$, β_1 与 β_2 相同, $\gamma_1 = \gamma_2$ 且 $|\theta_1 - \theta_2| \leq \varepsilon$, 则认为 $(\beta_1, \gamma_1, \theta_1)$ 与 $(\beta_2, \gamma_2, \theta_2)$ 相匹配。 ε 是一个自适应量, 与中心细节点的周边邻近细节点的个数有关。若临近细节点的个数越多, 模式所表示的区域指纹点线结构越复

杂,匹配时允许的误差也应越小。采用不少于 5 个周边细节点,可知 $\min(\theta_1, \theta_2) \leq 2\pi/5$,一般取 $\varepsilon \leq \min(\theta_1, \theta_2) \times 10\% \leq \pi/25$ 。若 X_1 与 X_2 中 α_1 与 α_2 相同, (β, γ, θ) 的个数相同且 $(\beta_1, \gamma_1, \theta_1)$ 与 $(\beta_2, \gamma_2, \theta_2)_i$ 对应依次相互匹配,则可判定 X_1 与 X_2 两个点拓扑模式相匹配。

两个点拓扑模式 RCR_1 与 RCR_2 为

$$RCR_1 =$$

$$\{TypeID_1, N_1(\alpha_1, C_1, Mtne_1, Rol_1)_i \mid i = 1, 2, \dots, N_1\}$$

$$RCR_2 =$$

$$\{TypeID_2, N_2(\alpha_2, C_2, Mtne_2, Rol_2)_i \mid i = 1, 2, \dots, N_2\}$$

若 $|\alpha_1 - \alpha_2| \leq \varepsilon_1, |C_1 - C_2| \leq \varepsilon_2, |Rol_1 - Rol_2| \leq \varepsilon_3, Mtne_1$ 和 $Mtne_2$ 相同,则认为 $(\alpha_1, C_1, Mtne_1, Rol_1)$ 与 $(\alpha_2, C_2, Mtne_2, Rol_2)$ 相匹配。式中, ε_1 为角度误差阈值,对于叉点模式,与叉点相连的脊线一般不小于 3 条,即 $\min(\alpha_1, \alpha_2) \leq 2\pi/3$,实际上 $\min(\alpha_1, \alpha_2) \ll 2\pi/3$,一般取 $\varepsilon_1 = \min(\alpha_1, \alpha_2) \times 10\%$, $\min(\alpha_1, \alpha_2)$ 越小, ε_1 也就越小,也就越精确。 ε_2 为曲率半径误差阈值,曲率半径越小,脊线弯曲的越厉害,对于近乎直线的脊线来说,其曲率半径接近无穷大,大部分指纹脊线的曲率半径都比较大,仅在

指纹核心区的脊线其曲率半径较小。指纹变形中平直脊线变形后视觉变化更明显,一般取 $\varepsilon_2 = \min(C_1, C_2) \times 15\%$ 以确保精度同时降低拒识率,提高算法的鲁棒性。 ε_3 为脊线两端点到最大曲率点连线长度的比值误差阈值,由计算规则可知: $Rol \leq 1$,且此值越小说明最大曲率点越靠近端点,即端点附近脊线变化剧烈,脊线结构也就越复杂,为保证匹配精度和鲁棒性,本文选择 $\varepsilon_3 = \min(Rol_1, Rol_2) \times 15\%$ 。

对于 RCR_1 与 RCR_2 ,若 $TypeID$ 相同, $N_1 = N_2$,且 $(\alpha_1, C_1, Mtne_1, Rol_1)_i$ 与 $(\alpha_2, C_2, Mtne_2, Rol_2)_i$ 依次相互匹配,则可判定 RCR_1, RCR_2 相互匹配。

3 拓扑模式在指纹识别中的应用

为验证所构建的拓扑模式在指纹识别中的应用效果,先以一枚指纹为例,实验验证所构建的两种拓扑模式应用与指纹识别的可行性和鲁棒性。

原始指纹及其平移、旋转、缩放和非线性变形后的图像如图 4 所示,构建的指纹拓扑模式的个数见表 1。

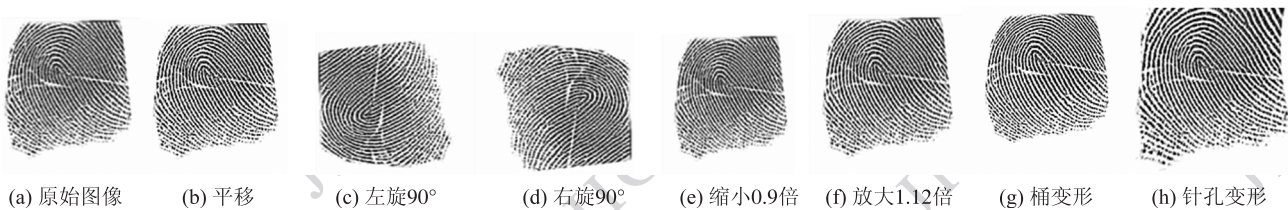


图 4 原始指纹及其变形图像
Fig. 4 The fingerprint image and its translation

表 1 不同指纹的拓扑模式的种类个数

Table 1 The class and number of topological pattern of different fingerprint

	原始图像	平移	左旋 90°	右旋 90°	缩小	放大	桶变形	针孔变形
点拓扑模式个数	59	58	49	54	59	57	59	59
端点模式	29	26	26	27	28	29	19	30
叉点模式	8	10	7	7	6	8	9	7

指纹平移、旋转、缩放和非线性变形前后的点拓扑模式个数相差不大,出现偏差的主要原因是变化后指纹的细节节点个数发生变化。指纹变化前后点线拓扑模式个数变化稍大,除了细节节点变化外,脊线缺失也是一个很重要的因素。由此可知指纹预处理的结果、指纹细节节点提取和脊线追踪结果对模式构建

的结果有重大的影响。

根据上文所给出的点拓扑模式和点线拓扑模式的匹配标准,平移、旋转、缩放、桶变形及针孔变形后图像的拓扑模式与原始指纹图像的拓扑模式匹配结果如表 2 所示。

由表 2 可知,指纹平移前后有 12 个点拓扑模式

表2 不同变形指纹拓扑模式的匹配个数

Table 2 The class and number of topological pattern of transformed fingerprint matched

		平移	左旋 90°	右旋 90°	缩小	放大	桶变形	针孔变形
匹配的点拓扑模式数		12	18	20	13	9	8	14
匹配的点线拓扑模式数	端点模式	18	18	18	17	15	10	18
	叉点模式	6	3	3	3	3	2	2

相匹配;点线拓扑模式中有 18 个端点模式和 6 个叉点模式相匹配,根据指纹识别规则可以判断两枚指纹来自同一手指。原始指纹与左旋指纹有 18 个点拓扑模式相匹配,与右旋指纹有 20 个点拓扑模式相匹配;左旋有 18 个端点模式和 3 个叉点模式共 21 个相匹配;右旋有 18 个端点模式和 3 个叉点模式共 21 个相匹配,可以判断 3 枚指纹来自同一手指。原始指纹与缩小指纹有 13 个点拓扑模式相匹配,与放大指纹有 9 个点拓扑模式相匹配;缩小指纹有 17 个端点模式和 3 个叉点模式共 20 个相匹配,放大指纹有 15 个端点模式和 3 个叉点模式共 18 个相匹配,可以判断 3 枚指纹图像来自同一手指。桶形变形和针孔变形是最常见的指纹变形,对图像中间影响较小,对边缘部分影响较大。原始指纹与桶变形指纹有 8 个点拓扑模式相匹配,与针孔变形指纹有 14 个点拓扑模式相匹配;桶变形指纹有 10 个端点模式和 2 个叉点模式共 12 个相匹配;针孔变形指纹有 18 个端点模式和 2 个叉点模式共 20 个相匹配,可以判断 3 枚指纹图像来自同一手指。

由表 2 匹配数据可以看出点拓扑模式的失配率较高,仅有 23% 的匹配率,其主要原因是模式中的细节点间连线穿越脊线数误差以及邻近周边细节点选择错误造成的。点线拓扑模式匹配率稍高,其中端点模式的匹配率约为 56%,叉点模式约为 39%,主要是由于点线模式受指纹平移、旋转、缩放和非线性变形影响较小,即点线拓扑模式在指纹变形中较点拓扑模式更具鲁棒性,但其中叉点模型中参数较端点模型多,存在更多的计算误差,从而使得其匹配率相对较低。

为了进一步验证拓扑模式用于指纹识别的可行性,在 FVC2004 DB1A 指纹数据库中进行了测试;同时对 DB1A 中每个指纹平移、缩放、左右旋转 90°、桶变形及针孔变形形成新的指纹库,算法在新的指纹库上也进行了测试。得到的 ROC 曲线如图 5 所示。由测试数据可知,本文算法 TP 的测试结果比 FVC2004 中较优秀的 p047、p101 算法差,与参赛

的平均水平的测试结果 AVG 相当,且本文算法在 DB1A 及其扩展上测试数据 TP@EX 相当,这说明拓扑模式在指纹变形中具有一定的鲁棒性。

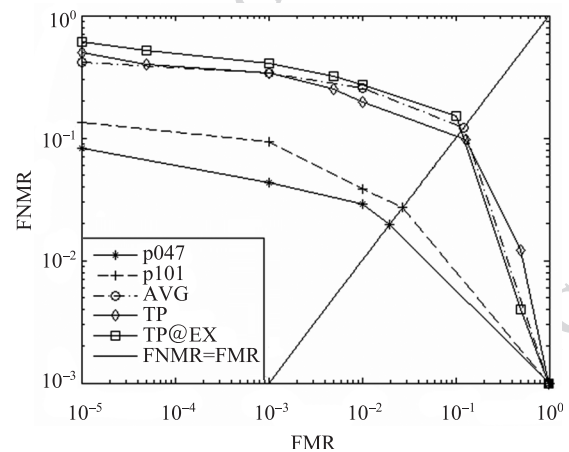


图5 本文算法在 FVC2004 DB1A 上的测试 ROC

Fig. 5 The ROC on FVC2004 DB1A of this algorithm

4 结 论

本文给出了一种新的指纹模式构建方法且经实验验证所构建的两种指纹拓扑模式对指纹平移、旋转、缩放以及桶变形和针孔变形等具有一定的不变性,可以用于变形指纹识别中。所构建的两种指纹拓扑模式是在指纹预处理及细节点提取、脊线追踪及各种属性计算的基础上构建的,上述指纹处理的结果对本文所构建的拓扑模式及其识别影响较大,另外拓扑模式的匹配标准及方法也需进一步完善与细化。虽然本文算法需要进一步的理论证明和实验验证,但将所构建的拓扑模式用于变形指纹识别,不失为一种新的尝试。

参考文献 (References)

- [1] Wang S J. Bionic (Topological) pattern recognition—a new model of pattern recognition theory and its applications [J]. Chi-

- nese Journal of Electronics, 2002, 30(10):1417-1420. [王守觉. 仿生模式识别(拓扑模式识别)——一种模式识别新模型的理论与应用[J]. 电子学报, 2002, 30(10):1417-1420.]
- [2] Zhong W B, Ning X B. A fingerprint matching method based on minutiae and ridges[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering. Piscataway: IEEE Press, 2008:1071-1074.
- [3] Tong X F, Huang J H, Liu S B, et al. Complex direction feature based fast fingerprint verification[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(10):1299-1303. [佟喜峰, 黄剑华, 刘松波, 等. 基于复合方向特征的快速指纹验证[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(10):1299-1303.]
- [4] Feng J J, Ouyang Z Y, Cai A N. Fingerprint matching using ridges[J]. Pattern Recognition, 2006, 39(11):2131-2140.
- [5] Xie X H, Su F, Cai A N. Ridge-based fingerprint recognition[C]//Proceedings of ICB2006. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Press, 2006:273-279.
- [6] Wang Y, Hu J K. Global ridge orientation modeling for partial fingerprint identification[J]. IEEE Transactions on PA&MI, 2011, 33(1):72-87.
- [7] Jain A K, Feng J J. Latent fingerprint matching[J]. IEEE Transactions on PA&MI, 2011, 33(1):88-100.
- [8] Zhong W B, Ning X B, Wei C J. A fingerprint matching algorithm based on relative topological relationship among minutiae[C]// Proceedings of IEEE Int. Conference Neural Networks & Signal Processing. Piscataway: IEEE Press, 2008:225-228.
- [9] Chai X G, Cen B C. Civil Fingerprint Identification Technology[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2004:60-61. [柴晓光, 岑宝炽. 民用指纹识别技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2004:60-61.]
- [10] Lv Y H, Li L J. Extracting fingerprint minutiae feature combined with structure information[J]. Computer Engineering and Application, 2009, 45(7):184-186. [吕玉华, 李丽娟. 一种结合结构信息的指纹细节点特征提取算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(7):184-186.]
- [11] Yuan W Q, Li H W. Fingerprint matching algorithm based on structural feature information[J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(7):101-104. [苑玮琦, 李宏伟. 基于指纹结构特征信息匹配的算法[J]. 光电工程, 2006, 33(7):101-104.]