

基于相对距离的手指静脉识别方法

王科俊 刘靖宇 李雪峰

(哈尔滨工程大学自动化学院 哈尔滨 150001)

摘要 提出了一种新的手指静脉识别方法,即以静脉内部拓扑结构的本质特性为原理进行手指静脉的匹配,首先对细化修复后的图像提取端点和交叉点,并计算这些特征点之间的相对距离,最后通过对比这些距离值来完成手指静脉图像的识别。该方法结合静脉自身特征,充分利用了拓扑结构的本质属性,无须定位,简单易行。实验结果表明,该方法能够快速准确地进行身份识别,在一定程度上克服了平移、旋转对识别结果的影响,具有实际应用价值。

关键词 手指静脉识别,拓扑结构,端点和交叉点,相对距离

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A

Finger Vein Recognition Algorithm Based on Relative Distance

WANG Ke-jun LIU Jing-yu LI Xue-feng

(College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract Raised a new finger vein recognition algorithm, the method uses the essential feature of inner finger vein feature structure to match the finger vein. First, extracts the endpoint and crosspoint in the finger vein images which have been thinned and repaired. Then computes the distance between these points. Lastly accomplishes the finger vein image recognition by comparing these distance value. The method integrates the vein's inherent feature and makes full use of the essential property of topology structure, and the localization is needless, so the method is simple and easily to be executed. The experiment result indicates that the algorithm effectively overcomes the influence of image translation and rotation, and the identity recognition can be executed fast and exactly. So the method has a actual applicative value and an evolvable foreground.

Keywords Vein recognition, Topology structure, Tndpoint and crosspoint, Relative distanc

1 引言

生物特征识别是依靠人体生物特征进行身份认证的一种技术,具有不会遗忘、丢失、伪造和假冒等优点,正在取代传统的方法,成为日常生活中首选的方便、可靠的身份鉴别方法。其中,手指静脉识别技术作为一种新兴人体特征识别技术,具有非接触性、抗干扰性和防伪性等优点,近年来备受关注,具有很大的发展潜力。一般采用近红外光照射皮肤的方法采集手指静脉图像,当近红外光线波长范围在700~1000nm内照射皮肤时,静脉中的血红蛋白相比其他组织(如脂肪、骨骼等)可以吸收更多的近红外线,从而呈现出网状结构的静脉纹路。

国外,日立公司在生物特征识别研究方面起步较早,并已按照应用类型产品化^[1],最初开发的产品用来进行出入管理。Naoto Miura^[2]等人提出了一种基于模板匹配的静脉识别方法,即先将图像进行二值化,并对二值化后的图像进行距离变换,再应用嵌入式隐马尔可夫模型识别手指静脉。但这需要复杂的预处理工作,识别速度较慢。手指若有较大变形,则不能准确识别。国内手指静脉识别技术的研究还处于起步阶段,但发展很快。哈尔滨工程大学的王科俊^[3]教授,采用一种

融合小波矩和PCA分解及LDA变换的方法来识别手指静脉,将静脉图像矩阵转化为一维向量进行降维处理,由于向量维数过高,将图像分成若干小块后再采用PCA算法进行降维处理。这是目前手指静脉识别领域中效果较好的一种方法。李雪妍^[4]提出了一种采用二维小波分析与纹理特征相结合的方法,实现了手指静脉识别。钱晓华^[5]提出用7个不变矩作为手指静脉特征,利用欧式距离和阈值分类准则对静脉进行匹配。余成波^[6]采用搜索二维灰度图像中的静脉在一维灰度曲线上形成的谷形区域来实现静脉特征的提取,其适用于信噪比低、光照不均以及特征类似的图像。

由于手指表面呈曲面状,当用近红外光源照射提取静脉图像时,会使静脉受光不均匀,导致采集的手指静脉图像灰度分布不均,对比度降低。而静脉的大小粗细不均,没有明显的周期性纹理,有效信息集中在低频部分。再加上手指中的静脉一般很少,本身又非常细小,因此能够提取到的细节特征就更少。不同人的手指大小、局部形态特征不同,而采用非接触式采集方式,使手指位置变化较大,手指的平移和旋转都会对识别结果产生影响。为减少无关数据对特征提取和识别的影响,就需要对手指进行定位处理,而目前还没有很好的定位方

到稿日期:2010-10-15 返修日期:2011-03-30 本文受国家863高技术研究发展计划(2008AA01Z148),国家自然科学基金(60975022),黑龙江省杰出青年科学基金(JC200703),哈尔滨市科技创新人才研究专项基金(2007RFXXG009)资助。

王科俊(1962-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为模糊混沌神经网络、模式识别, E-mail: heukejun@yahoo. cn.

法。为解决以上问题,本文提出一种基于相对距离的手指静脉识别方法,该方法充分利用了手指静脉拓扑结构唯一性原理,即每幅细化后的静脉图像中特征点间的相对距离值都各自不同。该原理反映了静脉自身结构的本质特征。该方法通过比对每幅图像中相对距离值相同的个数来匹配手指静脉图像。当静脉图像平移和旋转时,其手指静脉内部特征结构没有发生变化,即特征点的相对位置不变。可见本方法在一定程度上能够克服图像平移和旋转对识别结果的影响,具有一定的实际应用价值。

2 理论基础

在讨论前引入一些术语和约定。小写字母 a, b, c 表示向量;线段的长度记为 $\|a\|$ 。细化后的手指静脉图像是定义在一平面定义域 D 上的函数,记为图 M 。将图 M 中的点两两相连,每两点连线对应得到一个向量,来表示任意两点间的相对距离。

图 M 是定义在平面 D 上的函数,实际上是 D 的一部分,即没有充满整个平面 D 。我们讨论图像的平移和旋转运动,也只限在 D 上进行。图像的平移和旋转指图上的每一个点都移动相同量的坐标和旋转相同的角度,并保持图像大小不变。下面证明图像平移变换后,特征点连线产生的相对距离不变。

设在平面 D 中,所有特征点连线产生的拓扑图形构成了图 M 。那么,可用特征点连线产生的线段向量表示图 M 为 $a = (a_0, a_1, \dots, a_{n-1}), n \in N$ 。

令 $a[s] = (a_s, a_{s+1}, \dots, a_{s+n-1})$, 称 $a[s]$ 为向量 a 平移了 s 个距离后产生的向量。再令 $g_s = \langle a, a[s] \rangle$, 其中 $\langle a, b \rangle$ 表示向量 a 和 b 的内积。作向量 $v(a) = (g_0, g_1, \dots, g_{n-1})$, 称 $v(a)$ 为 a 的卷积。

记图像 M 在平面 D 内(上下左右)平移距离 s 后,得到图 $M' = M[s]$ 。于是,图 M 在平面 D 内做任意平移变换 T_d 后,可表示为 $T_d(a) = a[s] (0 \leq s \leq n)$ 。

定理 1 设 T_d 是 D 上的一平移变换,则 $v(a) = v(T_d(a))$ 。

证明:对于 $\forall s, t \in N$, 有

$$\langle a[t], a[s+t] \rangle = \langle a, a[s] \rangle \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{因为 } \langle a[t], a[s+t] \rangle &= \sum_i a_i[t] a_i[s+t] = \sum_i a_{i+t}[0] a_{i+t}[s] \\ &= \sum_i a_i[0] a_i[s] = \langle a[0], a[s] \rangle \end{aligned}$$

由式(1)知,对于 $\forall s, t \in N$ 有

$$g_s(a[t]) = g_s(a)$$

使得

$$v(a[t]) = v(a) \quad (2)$$

故对任意平移变换 T_d , 有 $T_d(a) = a[s]$, 由上述知 $v(a) = v(a[s]) = v(T_d(a))$, 证毕。

定理 2 图像进行旋转变换后,特征点连线产生的相对距离不变。

证明:在平面 D 上, \forall 向量 $a_0, b_0, c_0 \in M$, 表示特征点连线产生的线段向量。 θ_0 表示向量 a_0 和 b_0 的夹角。对任意的角度 α , 将图像 M 绕坐标原点旋转 α 度(逆时针旋转 α 取正值,顺时针旋转 α 取负值),用线性变换 T_α 表示。得到图像 \bar{M} , $\forall a$ 和 $b, \theta \in \bar{M}$, 有

$$[a, b] = [a_0, b_0] T_\alpha = [a_0, b_0] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, T_α 为齐次正交旋转矩阵,且 $\|T_\alpha\| = \sqrt{\rho(T_\alpha^T T_\alpha)} = 1$, $\rho(\cdot)$ 为矩阵的谱半径。

那么有

$$\|a\| = \sqrt{a^T a} = \sqrt{a_0^T T_\alpha^T T_\alpha a_0} = \|a_0\| \quad (4)$$

$$\text{同理, } \|b\| = \|b_0\| \quad (5)$$

定理 3 相对距离在平移和旋转运动变换下具有不变性。

证明:设图像 M 经过平移变换 T_d 和旋转变换 T_α 后得到图像 M' , $\forall a, a' \in M'$ 。设 $a = H(x) = T_d(T_\alpha(a_0))$,

得到 $a_0 = T_\alpha^{-1}(T_d^{-1}(a))$

令 $a' = T_\alpha^{-1}(a)$, 有 $a_0 = T_\alpha^{-1}(a')$

由定理 1 知, $v(a') = v(a)$

又由 $a_0 = T_\alpha(v(a'))$ 及 $v(a) = T_\alpha(v(a_0))$ 得 $v(a_0) = T_\alpha^{-1}(v(a'))$

于是得到

$$v(a_0) = v(H(a_0)) \quad (6)$$

3 本文方法描述

图 1 为本文方法的流程图。首先,读入原手指静脉图像,对其进行分割和细化操作,并进行图像修复。提取图像中的端点和交叉点,并计算所有特征点之间的距离。首先比对两幅图像中端点之间距离相等的个数,若相等或近似相等,则进行下一步,否则认为匹配失败。再比对交叉点之间距离相等的个数,若相等或近似相等,则进行下一步,否则认为匹配失败。最后比对所有特征点之间距离相等的个数,若近似相等,则匹配成功,否则认为匹配失败。只有同时满足以上 3 个条件,才认为匹配成功。

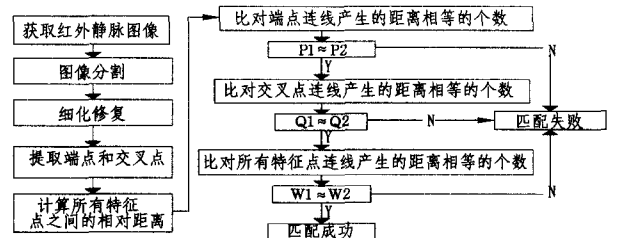


图 1 本文方法实现流程图

4 手指静脉图像的特征提取

首先使用方向滤波器^[7]设计方法,对原始手指静脉图像进行图像分割,再用 8 邻域的方法^[8]对分割后的图像进行细化操作,得到手指静脉的细化图像,最后对图像进行细化和修复。图 2(a)是原始的手指静脉图像;图 2(b)是分割后的手指静脉图像;图 2(c)是经过细化和修复操作后的手指静脉图像。

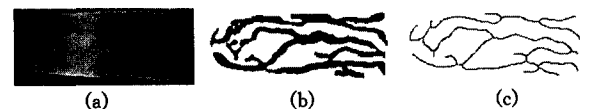


图 2

在图 2(c)中,可以清晰地看到手指静脉的纹路走向和内部结构。手指静脉细小,可提取的特征少;静脉曲折交错,分

布没有规律。静脉相交的地方便形成了交叉点,静脉在边缘截断的地方形成了端点。这些点都是手指静脉内部的特征点,每幅图像都各不相同。那么,通过计算特征点之间的相对距离就可以判断是否是同一个人的手指。这就把复杂的模式识别问题转化为简单的计算特征点之间的相对距离问题。同时,我们发现手指静脉图像在平移和旋转时,它的内部结构并没有发生变化,即图像中特征点间的距离相等或近似相等。所以,本方法同时克服了图像平移、旋转对识别结果的影响。

在图 2(c)中,标记出手指静脉图像的端点和交叉点,如图 3 所示。其中,红色圆圈标记的是手指静脉的端点,绿色方形标记的是手指静脉的交叉点。

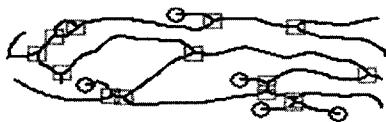


图 3

5 手指静脉图像的匹配

首先,将提取出的特征点两两相连,并计算任意两点间的相对距离,用来进行图像匹配,具体步骤如下。

(1) 定义特征点集 $A=(a_1, a_2, \dots, a_m)$ 、特征点集 $B=(b_1, b_2, \dots, b_m)$ 是两幅细化后手指静脉图像的特征点集。 $a(1, \dots, m)$ 和 $b(1, \dots, n)$, 其中 $m, n \in R$, 分别是两幅细化后的手指静脉图像中的特征点。分别计算特征点集 A 和 B 中所有端点之间的距离、交叉点之间的距离以及所有特征点之间的距离。对于特征点集 A , 假设其有 m_1 个端点和 m_2 个交叉点, 则有 $m_1 + m_2 = m$ 个特征点。我们求得距离中, 端点间的距离值共有 $m_1(m_1 - 1)/2$ 个, 交叉点之间的距离共有 $m_2(m_2 - 1)/2$ 个, 所有特征点间的距离个数为 $m(m - 1)/2$ 个。对于特征点集 B , 若其端点个数为 n_1 , 交叉点个数为 n_2 , 则对应 $n_1(n_1 - 1)/2$ 个端点间距离、 $n_2(n_2 - 1)/2$ 个交叉点间距离和 $n(n - 1)/2$ 个特征点间的距离。

(2) 比对特征点集 A 中 $m_1(m_1 - 1)/2$ 个端点间距离值与特征点集 B 中的 $n_1(n_1 - 1)/2$ 个端点间距离值相等或近似相等的个数, 判断其是否满足预先设定的阈值。如满足, 则继续下一步; 不满足, 则认为匹配失败。

(3) 比对特征点集 A 中 $m_2(m_2 - 1)/2$ 个交叉点间距离值与特征点集 B 中的 $n_2(n_2 - 1)/2$ 个交叉点间距离值相等或近似相等的个数, 判断其是否满足预先设定的阈值。如满足, 则继续下一步; 不满足, 则认为匹配失败。

(4) 比对特征点集 A 中 $m(m - 1)/2$ 个特征点间距离值与特征点集 B 中的 $n(n - 1)/2$ 个特征点间距离值相等或近似相等的个数, 判断其是否满足预先设定的阈值。如满足, 则匹配成功; 不满足, 则认为匹配失败。

在计算特征点之间的相对距离时, 可能会产生一定的误差。即使同一图像进行比对时, 相同距离值也可能出现不完全相同的情况。根据实验分析, 本方法的误差取为 0.0006。

另外, 由于即使是不相同的手指静脉图像中, 所有特征点间的距离值也有可能出现相等的情况, 因此不可避免会出现一些误差, 从而增加了拒真率。所以, 我们分 3 步进行匹配, 以保证识别的准确性和可靠性。

6 实验结果与分析

为了验证本文方法的有效性, 采用哈尔滨工程大学的手指静脉图像库中的手指静脉图像进行 1:1 验证和 1:n 识别测试。在静脉库中, 随机抽取 100 个人的手(食)指静脉图像, 每个人采集 5 次(5 个样本), 共 500 幅图像, 图像大小为 320×240 像素, 分辨率 96dpi。本方法在 Windows 2002 系统下利用 VC++6.0 进行开发实现。

在 1:1 验证模式下, 将每个手指中的 1 个样本分别与其他 4 个样本进行比对, 来完成验证工作。实验结果如表 1 所列, 通过次数为 1926 次, 通过率为 96.30%, 满足生物识别系统的要求。

表 1 1:1 模式下拒识率测试结果

匹配次数	通过次数	拒识次数	通过率(%)	误识率(%)
2000	1926	74	96.30	3.7

在 1:n 识别模式下, 选取每个手指中的任意两幅作为待识别样本与库中所有样本分别进行比对, 来完成识别工作。实验结果如表 2 所列, 误识次数为 9 次, 误识率为 4.5%。整个识别的过程仅为 1.6s 左右。本方法的系统响应时间满足实时生物识别系统的要求。

表 2 1:n 模式下误识率测试结果

匹配次数	误识次数	识别率(%)	误识率(%)
200	9	95.50	4.5

另外, 每幅手指静脉图像特征的距离值都用数值的形式存储, 其存储量远远低于原始图像的存储量。通过对实验结果的分析, 证明本方法是合理的, 在手指静脉识别上达到了比较理想的效果。同时, 我们根据文献[1]中提出的模板匹配方法, 采用本文使用的静脉库中的图像, 用相同的方法进行验证和识别实验。在 1:1 验证模式下, 拒识率为 2.90%。在 1:n 识别模式, 误识率为 3.30%。鉴于算法实现过程中的误差和采用图像的质量不同, 识别结果与原文相比存在一定的误差, 当模板存在较大变形时, 识别效果不佳。

结束语 手指静脉识别一般存在着定位难、手指的平移和旋转影响识别结果的情况。本文针对这些干扰因素, 结合手指静脉图像的特征, 充分利用静脉内部结构特征不变的属性, 提出了一种基于相对距离的手指静脉识别算法。首先提取细化后的手指静脉图像中的端点和交叉点, 并计算这些特征点之间的距离, 最后通过比对这些距离值来完成手指静脉图像的匹配。通过对 500 幅图像的测试表明, 本文方法能够有效地区分不同的手指静脉图像, 在一定程度上克服了图像平移和旋转对识别结果的影响, 解决了手指静脉定位难的问题, 同时减小了工作量和存储空间, 提高了识别速度和精度, 能够快速准确地进行身份识别, 是一种简单有效的手指静脉识别方法, 具有实际应用价值及发展前景。

但是, 识别中还是存在着一定的拒识和误识现象。由于即使是不同源的手指静脉, 特征点连线之间的距离也有可能出现相等的情况, 使得算法在很大程度上还存在着局限性。考虑到特征点连线后形成的线段之间还会形成一定的夹角, 今后的研究中可以将角度特征加入到我们的识别工作中, 与距离特征融合, 进行手指静脉的识别。同时, 由于本文方法对

(下转第 270 页)

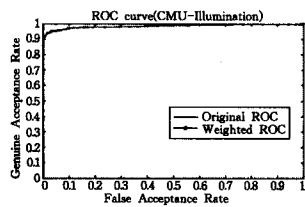


图 10 CMU PIE 光照子集的 ROC 曲线

结束语 随着人脸识别等生物特征识别技术的广泛应用,关于生物特征尤其是人脸特征的安全性和隐私性问题越来越受到关注。已有的关于人脸特征的保护算法大都是将实值的人脸特征数据转换为二值的串,再进行保护。为了弥补这种二值转换带来的信息丢失所导致的识别性能的下降,本文应用模糊逻辑分析了二值串中各个 bit 位的可靠性,从而提高了安全保护算法的识别率。

参考文献

[1] Jain A K, Ross A, Pankanti S. Biometric: A Tool for Information Security [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1(2): 125-143

[2] Uludag U, Pankanti S, Prabhakar S, et al. Biometric Cryptosystems: Issues and Challenges [J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(6): 948-960

[3] Jain A K, Nandakumar K, Nagar A. Biometric Template Security [C]//EURASIP. 2008

[4] Nagar A, Nandakumar K, Jain A K. Biometric Template Transformation: A Security Analysis [C]//Proc. of SPIE, Electronic Imaging, Media Forensics and Security XII, 2010

[5] Schneier B. Inside Risks; the Used and Abuses of Biometrics [J]. Communications of the ACM, 1999, 42(8): 136

[6] Adler A. Images Can Be Regenerated from Quantized Biometric Match Score Data [C]//Proceedings of Canadian conference of Electrical and Computer Engineering. 2004, 1: 469-472

[7] 周玲丽, 赖剑煌. 生物特征数据安全保护技术的发展[J]. 计算机科学, 2008, 35(10): 33-38

[8] Ratha N K, Connell J H, Bolle R M. Enhancing Security and Privacy in Biometrics-based Authentication System [J]. IBM Systems Journal, 2001, 40(3): 614-634

[9] Feng Y C, Yuen P C, Jain A K. A Hybrid Approach for Genera-

ting Secure and Discriminating Face Template [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2010, 5(1): 103-117

[10] Uludag U, Pankanti S, Prabhakar S, et al. Biometric Cryptosystems: Issues and Challenges [J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(6): 948-960

[11] Nandakumar K, Jain A K. Multibiometric Template Security Using Fuzzy Vault [C]// Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS08). 2008

[12] Nagar A, Nandakumar K, Jain A K. A Hybrid Biometric Cryptosystem for Securing Fingerprint Minutiae Templates [J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(8): 733-741

[13] Nagar A, Jain A K. On the Security of Non-invertible Fingerprint Template Transforms [C]//IEEE Workshop on Information Forensics and Security (WIFS). 2009

[14] Goh A, Ngo D L. Computation of Cryptographic Keys from Face Biometrics [M]. Communications and Multimedia Security, 2003: 1-13

[15] Jin A T B, Ling D N C, Goh A. Biohashing: Two Factor Authentication Featuring Fingerprint Data and Tokenized Random Number [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(11): 2245-2255

[16] Teoh B J A, Ngo C L D. Cancellable Biometrics Featuring with Tokenised Random Number [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(10): 1454-1460

[17] Teoh B J A, Ngo C L D, Goh A. Personalised Cryptographic Key Generation Based on FaceHashing [J]. Computers and Security, 2004, 23(7): 606-614

[18] Johnson W B, Lindenstrauss J. Extensions of Lipschitz Mappings into a Hilbert Space [J]. Contemporary Mathematics, 1984, 26: 189-206

[19] Kong B, Cheung K, Zhang D, et al. An Analysis of Biohashing and Its Variants [J]. Pattern Recognition, 2006, 39: 1359-1368

[20] Lumini A, Nanni L. An Improved BioHashing for Human Authentication [J]. Pattern Recognition, 2007, 40(3): 1057-1065

[21] Hajek P. Fuzzy Logic as Logic. Mathematical Model for Handling Partial Knowledge in Artificial Intelligence [M]. New York: Plenum Press, 1995: 2130-2130

[22] Teoh B A J, Kar-Ann T, Jaihie K. Hashing Solution for the Biometric Template Protection Problem [J]. Journal of Biomedicine and Biotechnology, 2007

(上接第 259 页)

手指静脉图像的预处理工作要求很高,其准确程度直接影响手指特征提取和匹配的结果。所以,今后的研究中我们也将着重深化图像预处理的效果,提高细化图像质量和特征点提取的精度,进而进一步提高手指静脉识别的鲁棒性和可靠性。

参考文献

[1] Shimizu K. Optical trans-body imaging: feasibility of non-invasion CT and functional imaging of living body [J]. Jpn. J. of Medicine Philosophica, 1992, 11: 620-629

[2] Miura N, Nagasaka A, Miyatake T. Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification [J]. Machine Vision and Applications, 2004, 15(4): 194-203

[3] 王科俊, 袁智. 基于小波矩融合 PCA 变换的手指静脉识别 [J]. 模式识别与人工智能, 2007(10): 692-697

[4] 李雪妍. 融合指纹和指静脉的多模态生物识别技术的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2008

[5] 钱晓华. 手指静脉识别算法 [D]. 长春: 吉林大学, 2009

[6] 刘加伶, 余成波. 基于人体手指静脉特征提取算法的研究 [J]. 计算机科学, 2008, 35(8): 218-230

[7] O'Gorman L, Lindeberg, Nickerson J V. An approach to fingerprint filter design [J]. PR, 1989, 22(1): 29-38

[8] Ain A K, Ross A, Prabhakar S. An introduction to biometric recognition [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 4-20

[9] Roberts C. Biometric technologies-palm and hand [EB/OL]. <http://www.ccp.govt.nz/newsroom/information-notes/2006/biometrics-technologies-palmhand.pdf>, March 22, 2008

[10] 苑玮琦, 柯丽, 白云. 生物特征识别技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 164-165

[11] 张玲, 张钲, 吴福朝. 对图形识别具有平移、旋转、伸缩不变性的神经网络 [J]. 计算机学报, 1998, 2(21): 127-136