

基于 Radon 变换的多尺度虹膜识别算法*

侯文君, 李 杨, 都思丹

(南京大学电子科学与工程系, 江苏南京 210093)

摘要:针对现有虹膜识别算法需要处理二维纹理信息, 特征提取时间长, 对噪声干扰比较敏感等问题, 提出了基于 Radon 变换的多尺度虹膜识别算法. 首先利用 Radon 变换将二维虹膜纹理信息转换为一维纹理信号, 然后使用小波变换多尺度能量算子提取虹膜的特征信息, 最后利用相异度函数进行匹配判别. 实验结果表明, 算法具有运算简单, 快速等优点, 同时算法能够较好地克服图像平移、缩放、旋转等几何攻击对识别带来的不利影响, 具有较强的抗干扰能力和较高的识别率.

关键词:虹膜识别; Radon 变换; 小波变换; 多尺度能量算子

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

An multi-scale iris recognition algorithm based on radon transform

HOU Wen-jun, LI Yang, DU Si-dan

(Department of Electronics Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: In order to solve some general problems in existing iris recognition algorithms such as sensitivity to noise and long calculation time for extracting 2-D feature etc, a new algorithm for iris identification of human eyes based on radon transform and multi-scale analysis was presented. First, radon transform was used to project the its texture to 1-D space, then multi-scale analysis was implemented to extract its feature. Energy values at different scales could effectively reflect the different energy distributions of iris texture and thus were recorded as a feature vector. At last, the feature vector was compared with model features through a dissimilarity function in order to classify different iris samples. Experiment results show that the algorithm is efficient while it is translation, rotation and scaling invariant as well.

Key words: iris recognition; radon transform; wavelet transform; multi-scale energy operator

在高度信息化的现代社会, 身份鉴别和认证的重要性越来越突出. 基于生物特征, 如指纹、虹膜、声音等的身份鉴别技术是近年来身份鉴别研究的热点. 其中, 虹膜因其具有个体差异性大、特征稳定以及采集的“非侵犯性”等优点, 引起了众多研究者的注意, 越来越广泛地被用于身份鉴别.

国际上很多研究机构都投入力量对虹膜识别进

行研究. 在国内, 中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室, 上海交通大学以及华中理工大学等在虹膜识别领域也做了大量的研究. 主要涉及的虹膜识别算法有三种: (I) 基于多通道 Gabor 滤波器的虹膜识别算法^[1]. 这种算法识别准确性高, 是目前商用虹膜识别系统的基础, 但该算法需要处理二维纹理信息, 增加了特征提取的运算时间; (II) 基于

* 收稿日期: 2006-10-24; 修回日期: 2006-11-13

基金项目: 国家自然科学基金(60472026)资助.

作者简介: 侯文君, 女, 1983年生, 硕士. 研究方向: 生物特征提取及模式识别. E-mail: sky_wenjun@163.com

通讯作者: 都思丹, 博士/教授. E-mail: dsd@ese.nju.edu.cn

二维小波多尺度分解的虹膜识别算法^[2]. 这种算法较好地利用了虹膜的全局特征和局部特征, 但同样需要处理二维虹膜纹理信息, 且算法对虹膜图像的旋转比较敏感; (Ⅲ) 基于小波变换过零检测的虹膜识别算法^[3]. 这种算法能够较好地克服图像平移、旋转、缩放等几何攻击的影响, 但是算法对灰度的变化比较敏感, 因而识别率不高.

本文提出的基于 Radon 变换的多尺度虹膜识别算法利用 Radon 变换将纹理图像数据从二维降至一维, 同时充分利用了小波分解的信号多尺度分析能力, 具有运算简单、快速、识别率高的特点. 该算法还能够克服图像的平移、缩放、旋转等几何攻击对虹膜识别带来的不利影响. 具体的实现包括虹膜图像的预处理、虹膜的特征提取以及模式匹配三个步骤.

提取虹膜的特征之前, 需要对虹膜图像进行预处理, 即从图像中分割出虹膜, 并补偿由于不同的拍摄条件带来的曝光度不同、瞳孔缩放等造成的对后续特征提取带来的不利影响. 预处理包括虹膜的定位、归一化以及虹膜纹理的增强几个步骤.

虹膜的定位包括虹膜内外边界的定位. 虹膜的内外边界都近似为圆形, 因此可以用中心坐标和半径这两个参数来表征. 使用 Canny 边缘检测算子对虹膜图像进行边缘检测. 然后对虹膜边缘图像用 Hough 算法^[4] 提取最接近虹膜内外圆边界的参数. 然而, 如果对图像进行全局搜索以获得这些参数值, 将极为耗时. 本文算法采用虹膜粗定位和精定位相结合的方法, 通过逐级缩小搜索范围的策略可以快速地获取虹膜的定位参数, 减少搜索的盲目性. 通过虹膜定位, 将虹膜从样本图像中分离出来, 可以消除虹膜图像的平移对识别带来的不利影响.

拍摄距离的远近不同以及拍摄时光照条件的不同, 都会造成虹膜的有效尺寸发生变化, 为了实现精确匹配, 还要对虹膜图像进行归一化处理. 考虑到眼睑的遮挡可能给识别带来的不利影响; 虹膜的纹理主要分布在靠近瞳孔的环域中, 算法选取瞳孔以外, 虹膜外半径的 75% 以内的环域作为有效的虹膜区域, 将虹膜环的宽度归一化为 32 pixels. 然后采用同态增晰和直方图归一化的方法, 增强虹膜的纹理细节. 最后, 去除虹膜环带上 $[45^\circ, 135^\circ]$ 的部分以消除睫毛遮挡的影响. 这种归一化的处理可以有效地减小瞳孔的收缩扩张以及图像的缩放对识别造成的不利影响. 预处理的结果见图 1.

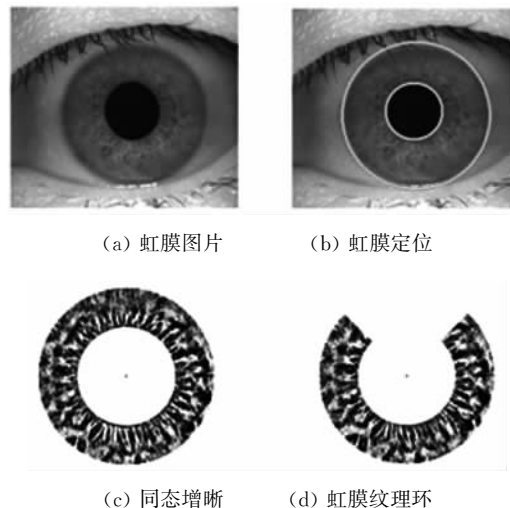


图 1 虹膜图像的预处理

Fig. 1 Preprocess of Iris Image

假设由预处理得到的虹膜纹理环为 $f(x, y)$, 根据 Radon 变换的定义^[6], 虹膜纹理环的 Radon 变换表达式为

$$R\{f(x, y)\} = \iint f(x, y) \delta(t - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy = p_\theta(t).$$

式中, $t = x \cos \theta + y \sin \theta$, 表示沿着直线上的距离, 变换投影角度 θ 的取值, 就形成了投影集合 $\{p_\theta(t), \theta \in [0, \pi)\}$, 如图 2 所示:

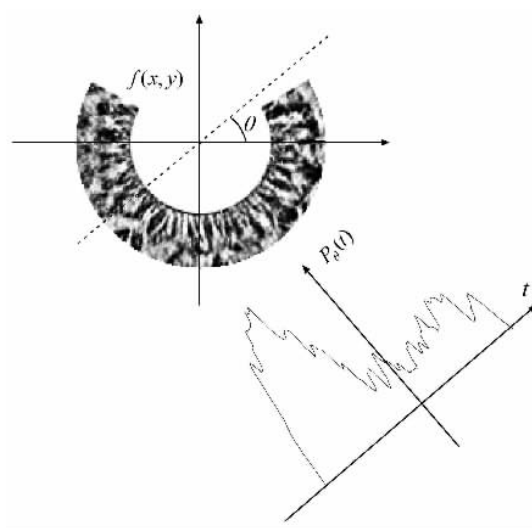


图 2 Radon 变换

Fig. 2 Radon transform

假设取投影的间隔为 $\Delta\theta$, 将 $[0, \pi)$ 等分为 M 个投影角度 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M$, 在与极轴成 θ_i 角的直线上, 二维虹膜纹理环 $f(x, y)$ 投影得到一个一维序列, 则所有投影角度上得到的投影序列构成了投影矩阵:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} p_{\theta_1}(1) & p_{\theta_1}(2) & \cdots & p_{\theta_1}(N) \\ p_{\theta_2}(1) & p_{\theta_2}(2) & \cdots & p_{\theta_2}(N) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{\theta_M}(1) & p_{\theta_M}(2) & \cdots & p_{\theta_M}(N) \end{bmatrix}.$$

式中, N 表示每个角度上投影点的个数, 矩阵中的每一行表示 $f(x, y)$ 在某一角度下的投影序列, 能够反映虹膜在该方向上的纹理特性, 而整个 Radon 变换矩阵 \mathbf{R} 则反映了虹膜在多个方向上的纹理特性 (如图 3 所示).

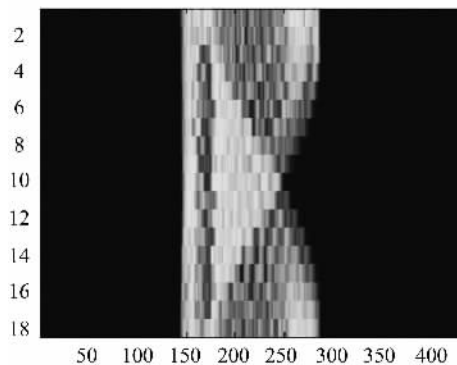


图 3 纹理环的 Radon 变换

Fig. 3 Radon transform of iris texture ring

Radon 变换不仅能够反映图像在各个方向上的纹理特征而且具有良好的抗噪声性能^[7,8]. 假设有两个同类虹膜的样本图片, 其中一个受了噪声的攻击, 它们经过预处理后得到的虹膜纹理环分别为 $f_1(x, y)$ 和 $f'_1(x, y)$, 经过 Radon 变换后, 有

$$|g_1(t, \theta) - g'_1(t, \theta)| \leq$$

$$\iint_D |f_1(x, y) - f'_1(x, y)| \delta[t - (x \cos \theta + y \sin \theta)] dx dy.$$

这表明变换后噪声的影响减小了.

图像采集时, 由于拍摄角度等因素的影响, 获取的样本图片中的虹膜可能会发生一定角度的旋转. 假设原虹膜样本经过预处理后得到的纹理环为 $f(x, y)$, Radon 变换结果为 $p_\theta(t)$, 发生了角度为 ϕ 的旋转后的样本的纹理环为 $f_\phi(x, y)$. 根据 Radon 变换的性质, 它的 Radon 变换是原图像 Radon 变换的循环移位, 即 $R\{f_\phi(x, y)\} = p_{\theta+\phi}(t)$.

由于纹理图像在不同尺度上的能量分布具有较大的差别, 所以多尺度能量算子能够作为纹理图像的特征^[9]用于图像的识别. 依次对每个方向上由 Radon 投影得到的一维序列进行多尺度的小波变换, 记录不同尺度上的能量数据, 作为该虹膜的特征向量. 具体的方法为: 设 \mathbf{R} 上某行数据为 $\mathbf{R}(\theta_i)$, 进

行多尺度小波分解, 设尺度 j 上数据为 $c_i^j(k)$, 其中, $k=1, 2, \dots, n$, 则定义尺度 j 上的平均能量为

$$E_i^j = \frac{\sum_k (c_i^j(k))^2}{n}.$$

考虑到小波分解的高尺度容易受到噪声的影响, 故算法对 Radon 变换矩阵中每行数据进行 5 个尺度上的小波变换, 取 2, 3, 4, 5 四个层次上的数据计算平均能量, 记该虹膜的特征向量为 $\mathbf{E} = \{E_1^2, E_1^3, E_1^4, E_1^5, E_2^2, \dots, E_M^2, E_M^3, E_M^4, E_M^5\}$. 向量 \mathbf{E} 是将各个尺度上的能量值按尺度顺序排列形成的向量.

为了衡量两个不同虹膜样本特征向量的相似度, 我们引入下面的相异度函数:

$$\text{diff}(i, j) = \min_m \sum_{n=1}^N |E_i(n) - E_j(n + 4 * m)|, \\ m \in [-2, 2].$$

其中, $\text{diff}(i, j)$ 表示第 i 个虹膜样本和第 j 个样本之间的相异度, $\mathbf{E}_i(n)$ 表示第 i 个样本的特征向量, $\mathbf{E}_j(n + 4 * m)$ 表示第 j 个样本的特征向量经过 $4 * m$ 次的循环移位后得到的新向量. 根据前面所述, 该式的含义是, 当样本图像中的虹膜发生旋转时, 虹膜纹理环的 Radon 变换结果将以行为单位进行循环移位, 最终使得特征向量也产生循环移位. 在一般情况下, 虹膜的旋转角度很小, 所以我们在进行匹配的时候将其中一个特征向量在一定范围内进行循环移位, 每移位一次, 求取一次相异度值, 最后取这些值中的最小值作为这两个虹膜样本的相异度值. 这样, 就能在很大程度上消除虹膜的旋转对识别带来的不利影响了.

本文采用模式识别国家重点实验室的数据库, 其中包括取自 29 个人的 40 只不同眼睛的虹膜图像样本, 每只眼睛又取不同时期拍摄的 4 幅 8 位灰度图像, 分辨率为 320×280 . 取 Radon 变换的投影角间隔 $\Delta\theta = 10^\circ$, 多尺度小波分解的层数为 5, 取 2, 3, 4, 5 层次上分解结果计算能量分布, 记录为特征向量, 进行两两比对. 除去各图像与自身比较以外, 共比较 12 720 次, 其中, 同类样本之间的比较为 240 次, 不同类样本的比较为 12 480 次, 获得的平均识别正确率为 98.3%. 算法的错误拒绝率 (FRR) 随着阈值的增大而减小, 而错误接受率 (FAR) 会随阈值的增大而增大. 为了兼顾 FRR 和 FAR 的值, 我们可以选取与两条统计曲线的交点对应的值为判别阈值 (如图 4 所示).

算法中, Radon 变换投影角采样间隔 $\Delta\theta$ 的选取

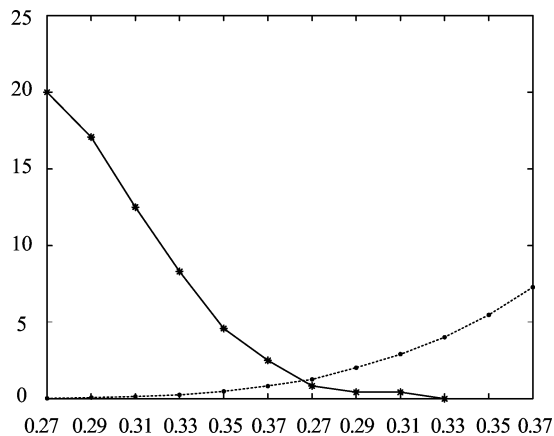


图 4 阈值的选择

Fig. 4 Threshold selection

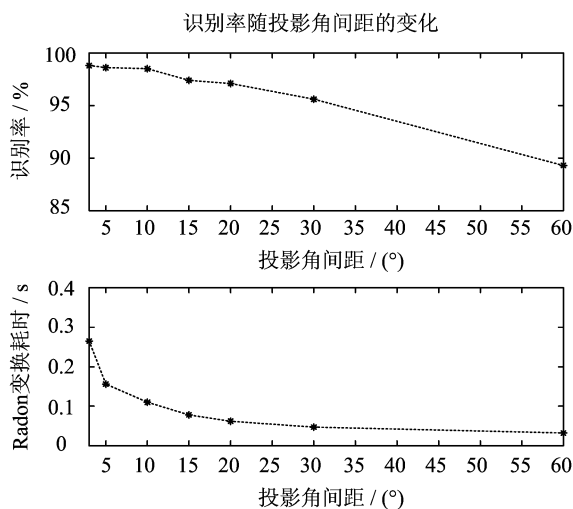


图 5 投影角间距的选择

Fig. 5 Selection of projecting-angle interval

会影响算法的准确度和计算的耗时. 实验结果(见图 5)表明, 当间隔角度为 3° , 5° , 10° 时, 算法的识别率都能保证在 97% 以上而且差别很小. 例如, $\Delta\theta=3^\circ$ 时, 识别率为 98.8%, $\Delta\theta=10^\circ$ 时, 识别率为 98.3%; 另一方面, 随着 $\Delta\theta$ 的减小, Radon 变换的耗时明显增加, $\Delta\theta=3^\circ$ 时 Radon 变换的耗时大约是 $\Delta\theta=10^\circ$ 时的三倍. 所以在对识别的精度要求不是很高而对实时性要求较高的情况下, 取间隔角度为 10° 能够较好地满足要求.

本文讨论了基于 Radon 变换的多尺度虹膜识别算法. 算法克服了图像平移, 比例缩放和旋转的局

限, 同时对亮度变化和噪声干扰也不敏感. 实验表明, 算法具有较高的识别率. 同时, 算法中改进了虹膜定位的方法, 缩短了虹膜预处理的耗时, 只要适当的选择 Radon 变换的投影角间隔, 就能够使算法具有较好的实时性.

参考文献(References)

- [1] WANG Y H, ZHU Y, TAN T N. Biometrics personal identification based on iris pattern [J]. Acta Automatica Sinica, 2002, 28(1): 1-10.
王蕴红, 朱勇, 谭铁牛. 基于虹膜识别的身份鉴别[J]. 自动化学报, 2002, 28(1): 1-10.
- [2] 章登勇, 蔡碧野, 李峰. 一种新的基于小波变换的虹膜识别算法[J]. 电子技术应用, 2006, (1): 58-60.
- [3] YING R D, XU G Z. Recognition of iris using the wavelet transform zero-crossing detection [J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2002, 36(3): 355-358.
应忍冬, 徐国治. 基于小波变换过零检测的虹膜识别技术[J]. 上海交通大学学报, 2002, 36(3): 355-358.
- [4] CHEN Gong, ZHOU You-ling. Iris location based on Hough transform[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2004, 30(2): 230-233.
陈功, 周又玲. 基于 Hough 变换的虹膜定位算法[J]. 华东理工大学学报, 2004, 30(2): 230-233.
- [5] YAO Peng, YE Xue-yi, ZHUANG Zhen-quan, et al. A new algorithm for iris image preprocessing [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2006, 36(8): 806-811.
姚鹏, 叶学义, 庄镇泉, 等. 一种新颖的虹膜图像预处理算法[J]. 中国科学技术大学学报, 2006, 36(8): 806-811.
- [6] Deans S R. The Radon transform and some of its applications[M]. New York: John Wiley, 1983.
- [7] Mukundan R, Ramakrishnan K R. Moment Functions in Image Analysis: Theory and Applications [M]. Singapore: World Scientific, 1998.
- [8] Tom M. Fourier volume rendering[J]. ACM Trans. on Graphics, 1993, 12(3): 128-132.
- [9] Pun C M, Lee M C. Log-polar wavelet energy signatures for rotation and scale invariant texture classification [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 590-603.