

基于 Gabor 滤波的虹膜识别系统设计

鲁志芳, 杨海俊

(上海东海职业技术学院, 上海 200241)

摘要: 随着科学技术的发展, 信息安全在各个领域显得越来越重要, 生物识别技术由于其特有的性质, 在传统的识别领域中脱颖而出; 其中, 虹膜识别以高可靠性和差异性, 成为目前安全性最高, 最理想的生物识别技术; 为增强虹膜识别算法的定位效率, 提出一种改进定位算法, 即二值化分割出瞳孔区域时, 修正瞳孔边界, 提高虹膜定位精度, 有效提高识别速度; 虹膜识别算法是整个系统的核心, 要使虹膜识别具有良好的效果, 需要对虹膜图像进行一系列的处理; 为了完整高效地实现虹膜识别系统, 对 Gabor 滤波器的原理及实现方法进行具体分析, 研究 Daugman 虹膜识别算法, 设计并完成了虹膜图像预处理, 特征提取, 二维 Gabor 滤波器的构建及参数选取等, 经仿真实验, 能够非常高效地完成虹膜特征提取并识别比对, 计算速度和效果均优于传统算法。

关键词: 虹膜识别; Gabor 滤波; 特征提取; 虹膜定位

Design of Iris Recognition System Based on Gabor Filtering

Lu Zhifang, Yang Haijun

(Shanghai Donghai Vocational and Technical College, Shanghai 200241, China)

Abstract: With the development of science and technology, information security is becoming more and more important in all fields. Because of its unique nature, biometric identification technology stands out in the traditional recognition field. Among them, iris recognition is the most secure and ideal biometrics technology with high reliability and diversity. In order to enhance the location efficiency of iris recognition algorithm, an improved location algorithm is proposed, that is, when the pupil area is divided into two values, the pupil boundary is corrected, the accuracy of iris location is improved and the recognition speed is improved effectively. Iris recognition algorithm is the core of the whole system. In order to make iris recognition have good effect, iris image processing is needed. In order to realize the iris recognition system completely and efficiently, the principle and realization method of Gabor filter are analyzed, and Daugman iris recognition algorithm is studied. The iris image preprocessing, feature extraction, the construction of the two-dimensional Gabor filter and the parameter selection are completed. Through simulation experiments, the iris recognition can be completed well, the speed of the iris recognition is very fast and the effect is better. Simulation experiments show that iris feature extraction and recognition can be done very efficiently, and the computation speed and effect are better than the traditional algorithm.

Keywords: iris recognition; Gabor filter; feature extraction; iris registration

0 引言

网络化日益发展的今天, 信息安全和身份识别在日常生活中变得越来越重要^[1-2]。

无论是在司法, 军事或者商务领域, 身份验证都具有广泛的应用。生物识别技术基于个人的生理特征, 具有不可复制性和稳定性等诸多优势。用生物特征识别技术进行身份验证, 安全性将大大提高。其中虹膜识别技术具有优于其他生物识别技术的可靠性和安全性。虹膜具有很细微的条纹特征, 这些特征在出生前就已经确定好, 并且终生不再改变^[3-4]。因此虹膜对每个人来说是独一无二的, 鉴于虹膜的独特性和不变性, 用虹膜识别来进行身份验证具有其他方法无可比拟的可靠性。

近年来, 国内外诸多学者对虹膜识别进行了广泛和深入的研究。国外一些发达国家已经在公共场合采取虹膜识别, 例如美国 Iriscan 公司研发的虹膜识别系统已经在德克萨斯州一些银行营业厅内运营。我国起步较晚, 但是越来越多的学者正积极投入该领域。中科院自动化所是国内最早进行虹膜识别研究的机构之一, 已经开发出多代虹膜识别系统, 实现完全自主研发^[5-6]。

虹膜识别主要分为虹膜定位技术, 滤波, 图像归一化, 特征提取和特征检测。目前的虹膜定位技术主要有 Daugman 虹膜定位法^[7], Wildes 定位法和基于活动轮廓的定位算法等。虹膜区域中为了去除上下眼睑的影响, 很多学者经常采用 Hough 变换, 微积分操作等进行圆弧检测定位。

1 虹膜定位

1.1 传统虹膜定位算法

传统虹膜定位算法一般有 3 种, 即基于圆周检测算子的 Daugman 活动模板匹配算法^[8], 基于 Hough 变换的定位算法和基于活动轮廓的定位算法。

收稿日期: 2018-06-11; 修回日期: 2018-06-22。

基金项目: 上海市教育科学研究课题(C18091)。

作者简介: 鲁志芳(1982-), 女, 硕士, 讲师, 湖北荆门人, 主要从事计算机教育, 计算机数据分析与应用, 教育教学培训方向的研究。

Daugman 虹膜定位算法是由剑桥大学 Daugman 教授提出，改算法在虹膜图像中通过搜索虹膜的中心和半径来确定虹膜的内外边缘。该方法能够精确定位虹膜，但是过于依赖光源和图像亮度影响，计算量比较大。

基于 Hough 变换^[9]的虹膜定位算法是由 Wildes 提出的，对虹膜图像进行边缘检测后用 Hough 变换分割出有效虹膜区域，能够有效消除噪声和边界的影响，其缺点是计算量复杂度高，占用资源过多。

基于活动轮廓模型^[10-11]的定位算法通过不断极小化自身能量函数来检测图像边缘信息，该方法具有很强的鲁棒性，但是很容易受到局部极值点的影响。

1.2 改进定位算法

本文对虹膜定位算法进行改进，弥补典型定位算法的不足，以提高虹膜定位精度，提升定位速度。在瞳孔二值化图像中存在眼睫毛或者眼睑与瞳孔粘连，此时需要对瞳孔边缘进行修正处理。然后对其进行拟合处理，使其更加准确平滑。其具体流程如图 1 所示。

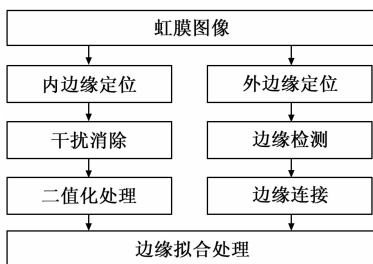


图 1 虹膜定位流程图

1.3 内边界定位

瞳孔的灰度值远远小于其他部分，而且相对而言比较集中，图 2 为原始图像，图 3 为灰度直方图。

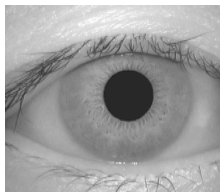


图 2 原始图像

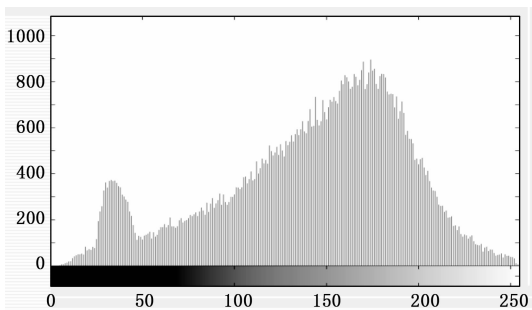


图 3 原始图像的灰度直方图

在灰度直方图中，灰度值自最小的峰值区域即为瞳孔的灰度分布。第二个峰值为虹膜区域的灰度值范围，我们可以选择适当的阈值对原始图像进行二值化处理。若出现大量黏连现象时，对虹膜二值化图像进行边缘修正处理，然后采用最小二乘法对瞳孔边界进行拟合处理。一般二次曲线可以由二次多项式表示：

$$F(x, y) = F(a, x) = a^T x = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0 \tag{1}$$

其中： a, b, c, d, e, f 是多项式的系数， $[x, y]$ 是数据坐标。所有数据点的代数距离平方和为：

$$D = \sum_{i=1}^M F(x_i, y_i)^2 = \sum_{i=1}^M (F(a, x_i))^2 = \sum_{i=1}^M (a^T x_i)^2 \tag{2}$$

再根据如下公式对所有数据点进行拟合：

$$D = \sum_{i=1}^M F(x_i, y_i)^2 = \sum_{i=1}^M (F(a, x_i))^2 = \sum_{i=1}^M (a^T x_i)^2 \tag{3}$$

为了处理方便，用线性阈值法将原始图像进行二值化，将最小像素值作为图像的处理阈值，处理结果如图 4 所示。

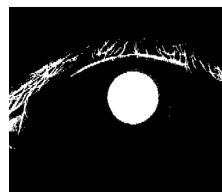


图 4 原始图像二值化处理

由图 4 可知，经二值化处理的图像受睫毛干扰较大，瞳孔内部的光点的也对结果有较大影响，因此对二值化后的图像再进行频域和一系列形态学操作，频域滤波采用高斯滤波方法，效果较好，高斯滤波得到的投影图像如图 5 所示。最终通过上述操作能完整的识别出瞳孔区域。具体的识别过程如图 5 所示。

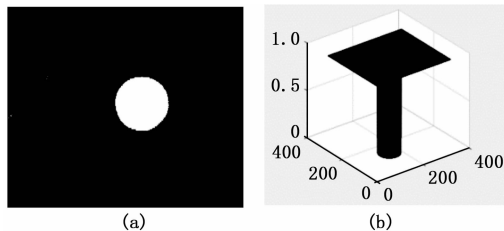


图 5 二值化图像处理及内边界检测

最后，如图 6 所示，将识别出的瞳孔区域用圆圈圈出，可以从图中看出，经过滤波和形态学操作，能够完整准确的进行内边界定位，即找出瞳孔。

1.4 外边界定位

目前主要的边缘检测算法有 Prewitt 算法，Sobel 算法，

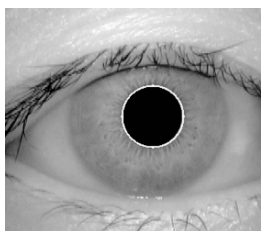


图 6 内边界定位

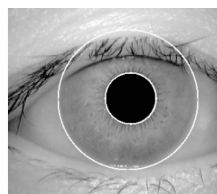


图 8 虹膜内外边界定位结果

Log 算法等, 其实现方式简单, 实用性强, 但是对噪声特别敏感, 抗干扰能力较差。因此 John Canny 提出一种最优化算法的边缘检测算子^[12-13], 结合了上述几种方法的优点, 效果明显强于之前的算法。一般情况下, 虹膜与外面的眼白区域在灰度图中差异较小, 特别是当采样环境中光照条件欠佳的情况, 因此二值化方法不再适合于虹膜的外边界定位。这里采用 Canny 算子进行边缘检测。Canny 算子进行边缘检测的时候, 首先进行高斯滤波, 对图像进行平滑处理, 再用一阶微分算子计算图像梯度的幅值和方向, 最后进行双阈值分割, 确定边缘点。Canny 算子在边缘检测中具有诸多优点, 例如不会丢失重要边缘, 实际边缘与检测到的边缘之间误差相对较小等, 具有很高的实用意义。几种算法的边缘检测结果如图 7 所示。

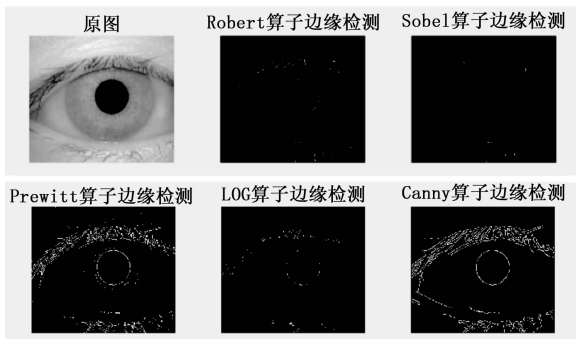


图 7 不同边缘检测算法结果

如图 7 所示, Canny 算子在边缘检测中具有更好的稳定性和可靠性, 但是其边缘会出现断裂的情况, 因此需要采取形态学措施, 通过一系列膨胀, 开运算等方法, 使其效果更佳。

在光照条件改变时, 虹膜中纹理最丰富, 辨识度最高的部分在虹膜贴近瞳孔的内部, 外部的辨识信息较少, 因此我们直接将虹膜外边缘近似成圆, 然后利用最小二乘法对圆进行拟合, 达到最优识别效果。Canny 算子由于在收到噪声干扰后会产生许多边缘断裂现象, 必须进行形态学连接处理。利用直线元素对图像进行膨胀运算消除边缘间断。最后利用带约束的最小二乘法进行拟合处理, 对虹膜外边界进行定位。最小二乘法具有很高的拟合精度, 能满足大量实际应用场合的需要, 虹膜外边界定位结果如图 8 所示。

由上图可以看出, 内外边界都已经被很清晰的标注出, 外边界虽然与眼白差异很小, 但是通过处理也可以完整的

识别出, 表明该算法的可行性。

2 虹膜图像归一化

在采集虹膜图像时, 由于采样时光线强度, 采样角度, 虹膜大小均存在不可改变的差异, 若采用之前的算法直接进行处理, 会遇到很多问题, 因此我们需要先对图像进行归一化处理, 即将虹膜环形图像区域进行缩放, 放置在一个固定的矩形区域内, 对图像平移和缩放所造成的影响进行消除。

2.1 归一化模型

本文采用的是基于 Daugman 提出的“Rubber-Sheet”模型, 将之前定位识别出来的环状虹膜区域展开, 放置于固定分辨率的矩形区域。具体模型如图 9 所示。

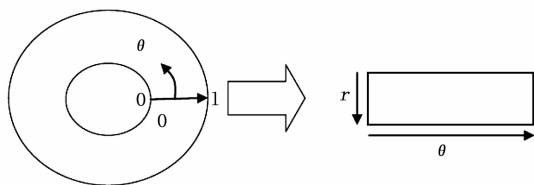


图 9 “Rubber-Sheet”模型

虹膜区域由笛卡尔坐标系中 (x, y) 映射到归一化的非同心极性表示, 具体模型如下述公式所示。

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta) \quad (4)$$

其中:

$$x(r, \theta) = (1 - r)x_p(\theta) + rx_1(\theta) \quad (5)$$

$$y(r, \theta) = (1 - r)y_p(\theta) + ry_1(\theta) \quad (6)$$

式中, $I(x, y)$ 是虹膜区域图像, (x, y) 是原始的笛卡尔坐标系中点的坐标, (r, θ) 是极坐标系中对应的坐标, 其量化程度直接决定了矩形区域的分辨率。该模型考虑到瞳孔的扩张和尺寸不一致问题, 能够处理不同条件下的虹膜图像, 能得到相对满意的结果。

2.2 归一化和增强处理

由于很多情况下, 采集图像时并不能完全采集到个体的完整圆弧, 而只是采集到虹膜圆弧的一部分, 这时我们需要对图像进行抗干扰处理, 准确选取出虹膜部分, 再进行正确的归一化处理, 否则归一化处理后感干扰过多, 不利于之后的图像分析操作。对图像的干扰滤除以及归一化如图 10 所示。

如图 10 所示, 将眼部其他部位进行滤除, 只剩下单纯的虹膜部分, 为后续处理带来便利。

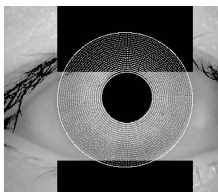


图 10 归一化边缘处理

将虹膜区域确定好后，我们需要讲其进行归一化处理。归一化后的图像如图 11 所示。



图 11 归一化处理结果

我们只取虹膜图像中距离瞳孔最近的区域，也就是最有识别度的代表性区域进行分析，由于原图中虹膜和巩膜部分本来就差异不大，因此归一化后的图像区域较小。对图片进行均衡化处理，得到结果如图 12 所示。



图 12 归一化图像均衡处理

如上图所示，均衡化处理后的图像明显比直接归一化的图像清晰明了，图像增强效果明显。

3 虹膜特征提取

虹膜图像中包含了诸多信息，其中的纹理内容丰富，包括方向和频率等信息。每个个体之间的差异明显，具有不同的纹理结构，利用这个原理，我们就可以使用这些信息进行个人身份的验证。不同的虹膜图像中，幅度信息相差不大，易受各种干扰，最主要的差异在相位。

经过之前处理过的虹膜图像可以看成纹理图像，我们可以用纹理分析方法对虹膜图像进行特征提取。目前典型的方法主要有 Gabor 滤波和小波变换方法。但是由于小波变换提取的特征点较少，识别率一般，因此本文使用 Gabor 滤波器。Gabor 滤波器可以同时时域和频域获得最佳的图像分辨率，方向性好，已经作为一种成熟的技术在图像纹理分析邻域获得很大的应用，效果显著，在虹膜纹理特征提取中，Gabor 滤波器可以有效进行图像的分解滤波，将图像中的高频分类消除，得到可靠稳定的虹膜纹理图像并进行分析。

3.1 Gabor 滤波器

Gabor 滤波器的数学特性在 Daugman^[14-15] 的文章中已经详细论述，指出该滤波器适用于图像纹理分析的原因是由于其在空间和频域具有很好的联合定位能力。

二维 Gabor 函数由高斯函数构成，其二维表达式如下所示：

$$G_{\omega, \theta, \sigma, \beta}(x, y) = \exp\{-\pi[(x - x_0)^2 \sigma^2 + (y - y_0)^2 \beta^2]\} \cdot$$

$$\exp\{-2\pi j f[(x - x_0)\cos\theta + (y - y_0)\sin\theta]\} \quad (7)$$

式中， f 表示正弦曲面的频率，可见 Gabor 函数具有频率选择性。Gabor 滤波器有多个参数输入，通过调整参数，可以获取局部图像信息，用特定的滤波器组队图像进行滤波处理。

3.2 Gabor 结果

通过 Gabor 滤波器进行处理，可以得到图像在纹理和特定频率方向上的信息，二维 Gabor 滤波器的高斯窗口如图 13 所示。

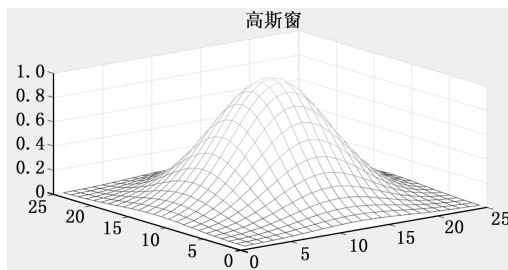


图 13 二维 Gabor 滤波器的高斯窗

3.3 虹膜特征提取和编码

虹膜图像经过前期预处理和归一化后，具有很明显的分布特征。设预处理后虹膜图像为 $I(x, y)$ ，对每个带进行分块编码，然后用式 (8) 获取不同子块的频率和方向，具体实现公式如下：

$$C(i, j) = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M I(i + x - \frac{M}{2}, j + y - \frac{N}{2}) \cdot G(x, y, f, \theta) \quad (8)$$

Gabor 滤波器在这里选用的尺寸为 $M \times N$ ， (i, j) 为虹膜图像中每块的中心点，然后选取一个阈值来具体量化虹膜信息的实部和虚部，在 4 个象限分别编码。虹膜图像的分块不同，其特征编码的长度也不同。

3.4 虹膜特征匹配

在进行虹膜图像的编码以后，需要对其与其他图像进行匹配验证，以达到身份识别的功能。在进行对比时，需要计算虹膜时间的相似程度。本文采用 Hamming 距离来衡量虹膜特征编码之间是否相似。这个过程中，我们需要选取合适的阈值直接判断两个虹膜是否来自于同一个人。

本文使用的 Hamming 距离的原始计算公式如下：

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N ACM_j \oplus BCM_j \quad (9)$$

式中，两个虹膜图像特征编码为 N 维特征向量，分别是 ACM 和 BCM 。我们选取的阈值 T 若大于 HD ，则表明两个虹膜来自于同一个人。Hamming 距离表征两个虹膜编码之间的相似度，若 $HD=1$ ，表示两个虹膜特征编码完全相反。在实验中，应当选取合适的阈值，使识别效果达到最佳。

本文将两个不同的瞳孔进行预处理，然后采用 Gabor 进行特征提取，最后用 Hamming 距离衡量两个特征图片直

接的相似程度。实验结果如图 14 所示。图 14 中最上面两个图表示不同的瞳孔, 中间的第二行表示瞳孔和虹膜定位后的图, 第三行表示的是虹膜进行归一化的结果, 第四行表示两个图片采用均衡化处理来进行增强的结果, 第五行表示利用 Gabor 滤波器对虹膜归一化图像进行特征提取并且编码, 最后一行显示最终结果, 即两个特征图像之间的 Hamming 距离, 并指出是否来自于同一双眼睛。

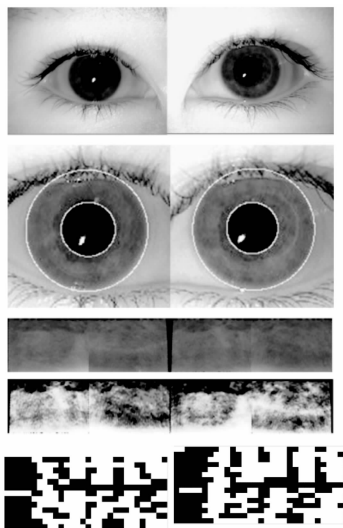


图 14 系统实验

接下来对系统进行一系列测试, 分别用不同的眼睛来作为系统输入, 看系统的输出结果, 运行结果如表 1 所示。

表 1 系统运行结果

实验组	相同眼睛	Hamming	结果
1	是	1.62	是
2	否	2.56	否
3	是	3.67	否
...
198	是	1.94	是
199	否	2.44	否
200	否	3.35	否

从表 1 可以看出, 系统对输入图像的判断相对较为准确, 准确率达到 94%, 能够较为有效地识别出虹膜, 也表明了本系统提出的改进算法具有一定的现实意义。

4 结论

本文深入了解了国内外虹膜识别的研究现状, 在虹膜定位和特征提取方面完成自己的研究工作。首先分析图像处理中形态学处理方法, 去除睫毛对虹膜定位的影响。在虹膜内边界的确定过程中, 修正二值化图像的形态学处理, 得到真实的瞳孔边界, 用带约束的最小二乘法进行拟合。在外边界确定过程中, 通过使用最小二乘法对边缘进行拟合处理, 有效避免了 Canny 算子在边缘检测中容易产生的边缘间断问题。完成了虹膜识别系统的构建, 从虹膜的边

缘定位到特征提取, 再到最后的虹膜特征匹配, 最后通过 200 张图片的实验, 对本系统进行最终效果验证, 得到了令人满意的实验结果。

本文设计的虹膜识别系统忽略了虹膜特征匹配的分类机制, 接下来准备使用基于神经网络和支持向量机进行分类研究, 以进一步提高识别准确率。

参考文献:

- [1] Prabhakar S, Pankanti S, Jain A K. Biometric recognition: security and privacy concerns [J]. Security & Privacy IEEE, 2003, 1 (2): 33-42.
- [2] Chowhan S S, Shinde G N. Iris Biometrics Recognition Application in Security Management [A]. CISP '08. Congress on Image and Signal Processing, 2008 [C]. IEEE, 2008: 661-665.
- [3] 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.
- [4] Sun Z, Tan T. Ordinal Measures for Iris Recognition [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2009, 31 (12): 2211-2226.
- [5] 穆伟斌, 张淑丽, 王晓东, 等. 基于虹膜识别的身份鉴别系统设计 [J]. 齐齐哈尔大学学报 (自然科学版), 2014 (3): 57-59.
- [6] 史久根, 李凯业. 基于分层改进 D~* 算法的室内路径规划 [J]. 计算机应用研究, 2015, 32 (12): 3609-3612.
- [7] Daugman J. High confidence personal identification by rapid video analysis of iris texture [A]. Crime Countermeasures, Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers 1992 International Carnahan Conference on Security Technology [C]. 1992. IEEE, 2002: 50-60.
- [8] Daugman J. The importance of being random: statistical principles of iris recognition [J]. Pattern Recognition, 2003, 36 (2): 279-291.
- [9] Wildes, Richard P, Asmuth, Jane C, Hanna, Keith J, et al. Automated, non-invasive iris recognition system and method: EP, US5572596 [P]. 1996.
- [10] 李庆嵘, 马争. 虹膜定位算法研究 [J]. 电子科技大学学报, 2002, 31 (1): 7-9.
- [11] Fox D, Burgard W, Thrun S. The dynamic window approach to collision avoidance [J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2002, 4 (1): 23-33.
- [12] Bao P, Zhang L, Wu X. Canny edge detection enhancement by scale multiplication. [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2005, 27 (9): 1485-1490.
- [13] 李牧, 闫继红, 李戈, 等. 自适应 Canny 算子边缘检测技术 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28 (9): 1002-1007.
- [14] Lyons M, Akamatsu S, Kamachi M, et al. coding facial expressions with Gabor wavelets [A]. IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 1998. Proceedings [C]. IEEE, 2002: 200-205.
- [15] 陈小光, 封举富. Gabor 滤波器的快速实现 [J]. 自动化学报, 2007, 33 (5): 456-461.