

文章编号:1004-9037(2013)05-0586-05

# 形态学算子和小波变换的虹膜去噪算法

郭业才<sup>1</sup> 康景磊<sup>2</sup>

(1. 南京信息工程大学电子与信息工程学院, 南京, 210044; 2. 安徽理工大学医学院, 淮南, 232001)

**摘要:**为了解决虹膜识别过程中睫毛噪声干扰的问题,提出了一种基于形态学算子和小波变换相结合的睫毛抑制算法。该算法首先将虹膜图像中的睫毛区域模拟成背景图像中的“裂缝”,通过形态学膨胀算子对裂缝区域进行像素填充,然后利用小波变换的多分辨率特性,对变换后的高频系数进行非线性小波阈值处理,低频部分进行反锐化掩膜,最后经小波逆变换重构虹膜图像。样本仿真实验表明:该算法可以使Daugman和Wildes定位算法的精确度分别提高2.1%和2.43%,定位时间相对减少24.3%和22.6%。

**关键词:**虹膜定位; 膨胀; 小波变换; 睫毛干扰

**中图分类号:**TP391.41 **文献标志码:**A

## Suppressing Eyelash Interference Algorithm Based on Morphology and Wavelet Analysis

Guo Yecai<sup>1</sup>, Kang Jinglei<sup>2</sup>

(1. College of Electronic and Information engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, 210044, China;

2. College of Medical, Anhui University of Science and Technology, Huainan, 232001, China)

**Abstract:** In order to improve the performance of eyelash interference suppressing algorithm in the iris recognition, a new eyelash suppression algorithm based on the combination between morphological operators and wavelet transform is proposed. In the proposed algorithm, the eyelash area of the iris image is firstly simulated into the 'cracks' of the background image and the crack area is filled with pixels by morphological dilation operator. Then, the high frequency wavelet transform coefficients are processed as nonlinear wavelet threshold based on the multi-resolution characteristic of wavelet transform, and low-frequency parts are processed as the unsharp mask. Finally, the iris image is reconstructed by using inverse wavelet transform. The simulation results show that the Daugman and Wildes localization methods based on the proposed algorithm have an improvement of about 2.1% and 2.43% for location accuracy and a drop of about 24.3% and 22.6% for location time, respectively, compared with the Daugman and Wildes localization algorithms based on the Gaussian filtering algorithm.

**Key words:** iris registration; dilation; wavelet transform; eyelash interference

## 引 言

目前,通过摄像机获取的虹膜图像大都含有睫毛等噪声的干扰,特别是睫毛会对虹膜区域产生遮盖,直接影响了虹膜定位算法的性能。当睫毛干扰

程度较严重时,可能会造成虹膜定位的失败<sup>[1]</sup>。因此,研究具有较强抑制睫毛噪声干扰的方法对提高虹膜定位算法的性能非常关键,并且具有重要的理论和现实意义。

传统的抑制睫毛干扰的方法,主要有高斯滤波去噪、维纳滤波去噪、形态学膨胀算法去噪<sup>[2-8]</sup>等,

其中较为常见的是高斯滤波法。尽管高斯滤波抑制睫毛可以在一定程度上消除睫毛的干扰,但同时存在如下问题:(1)滤波后的虹膜图像的大部分睫毛像素并没有被消除,睫毛干扰的负面影响仍然比较严重;(2)去噪后的虹膜外边缘变得比较模糊,影响了后续虹膜定位的准确性。目前,对虹膜图像的提取算法中,通行的 John Daugman 算法<sup>[2]</sup>是以圆探测器的迭代求取最大边缘梯度的积分来实现;Wildes 定位算法<sup>[9]</sup>的思路与 John Daugman 算法,只是在搜索空间上有所不同,并且是利用 Hough 变换<sup>[10,11]</sup>来完成最后的拟合。而基于高斯滤波抑制睫毛干扰算法的 Daugman 定位算法和 Wildes 定位算法,具有较好的鲁棒性、较高的定位精度和较低定位时间。提高 Daugman 定位算法和 Wildes 定位算法的定位精度、减小其定位时间的关键是寻求更为有效的虹膜图像睫毛干扰抑制算法。我们知道算法的定位精度越高,虹膜的识别准确度越高,其鲁棒性较好,而且定位精度较高。

为了获得有效的虹膜图像睫毛干扰抑制算法,进一步提高 Daugman 定位算法和 Wildes 定位算法的性能,本文首先针对抑制睫毛干扰算法的缺陷,重新定义睫毛干扰存在的模型后,将形态学与小波变换相结合,提出了一种形态学算子和小波变换相结合的睫毛抑制算法,并通过仿真实验验证所给算法的有效性。仿真实验表明:本文所给算法可以使 Daugman 和 Wildes 定位算法的精确度分别提高 2.1% 和 2.43%,定位时间相对减少 24.3% 和 22.6%。

## 1 设计与方法

### 1.1 形态学膨胀算子

形态学膨胀运算是一种针对物体几何结构进行处理的非线性方法,可用来填补物体中的“小空洞”和狭窄的“缝隙”等,其形态学膨胀运算式为

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (1)$$

式中: $A, B$  分别为数集和结构元素, $\oplus$  为形态学膨胀运算, $(\hat{B})_z$  为  $B$  经反射变换并在  $Z$  点平移后形成的新集合。用模板  $B$  对图像  $I$  进行灰度膨胀表示为  $I \otimes B$ , 定义为

$$I_D(x, y) = I(x, y) \oplus B(s, t) = \max\{I(x-s, y-t) \mid B(s, t) \mid (x-s, y-t) \in I\} \quad (2)$$

式中: $I(x, y)$  为虹膜图像; $I_D(x, y)$  为经过形态学膨胀运算后的虹膜图像; $B(s, t)$  为结构元素; $s, t$ ,

$x, y$  为像素坐标。结构元素  $B$  的选择需由实验确定,目标是睫毛抑制预处理效果理想。

### 1.2 图像的小波变换及去噪

#### 1.2.1 图像的小波变换

根据小波变换的 Mallat 快速算法<sup>[12-15]</sup>, 设  $H$  (低通)和  $G$  (高通)为两个一维镜像滤波算子,其下标  $m$  和  $n$  分别对应于图像的行和列,则按照二维 Mallat 算法,在尺度  $j-1$  上的 Mallat 分解公式为

$$\begin{cases} C_j = H_m H_n C_{j-1} \\ D_j^H = G_m H_n C_{j-1} \\ D_j^V = H_m G_n C_{j-1} \\ D_j^D = G_m G_n C_{j-1} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $C_j, D_j^H, D_j^V, D_j^D$  分别对应于图像  $C_{j-1}$  的低频部分、水平方向上、垂直方向上、对角线方向上的高频部分,与之对应的二维图像的 Mallat 重构公式为

$$C_{j-1} = H_m^* H_n^* C_j + H_m^* G_n^* D_j^H + G_m^* H_n^* D_j^V + G_m^* G_n^* D_j^D \quad (4)$$

式中: $H^*, G^*$  分别为  $H, G$  的共轭转置矩阵。若利用 Mallat 算子法可以把一幅图像  $C_{j-1}$  分解为一个低频子图  $C_j$  和水平、垂直与对角线 3 个方向的高频子图  $D_j^H, D_j^V$  与  $D_j^D$ 。同样,低频子图像  $C_j$  可以继续分解。

#### 1.2.2 小波去噪

小波阈值去噪方法<sup>[13,15,16]</sup>的基本思想是:图像经多尺度分解得到的小波系数具有不同的分布特性:噪声主要在高频段,对应绝对值较小的小波系数;图像信息主要在低频段,对应绝对值较大的小波系数。高频部分大于一定阈值的小波系数含图像分量,予以保留;小于该阈值的小波系数予以滤除。经处理之后的小波系数基本保留图像信息,达到去除噪声的目的。

阈值函数的选取通常有硬阈值函数和软阈值函数两种。硬阈值方法可以较好地保留图像边缘等局部特征,但得到的小波系数连续性差,可能引起重构图像的视觉失真;软阈值方法得到的小波系数连续性好,具有更高的信噪比,很好地保持图像细节,因此本文采用软阈值。

软阈值函数公式表示为

$$W_t = \begin{cases} \text{sgn}(W)(|W| - t) & |W| \geq t \\ 0 & |W| < t \end{cases} \quad (5)$$

式中: $t$  是阈值, $W$  表示小波系数的数值。当输入绝对值小于阈值  $t$  时,输出等于零;当输入绝对值大于  $t$  时,小波系数用  $t$  来缩减。这种阈值函数使系数向零的方向缩减,能取得比硬阈值函数更好的信噪比。

### 1.3 基于形态学膨胀运算和小波分析的睫毛干扰抑制算法

基于以上分析,本文结合形态学膨胀运算与小

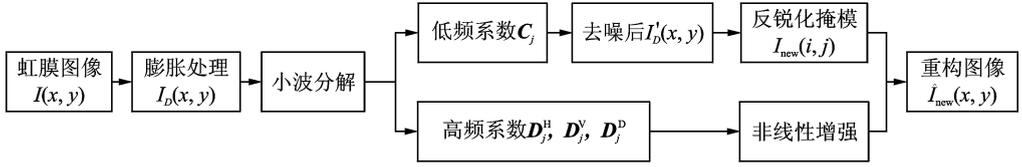


图 1 形态学膨胀运算和小波分析的睫毛干扰抑制算法流程图

由图 1 可获得如下步骤:

(1) 对获取的虹膜图像  $I(x, y)$  做形态学膨胀运算,膨胀后的睫毛大量变得模糊,如图 2 所示。

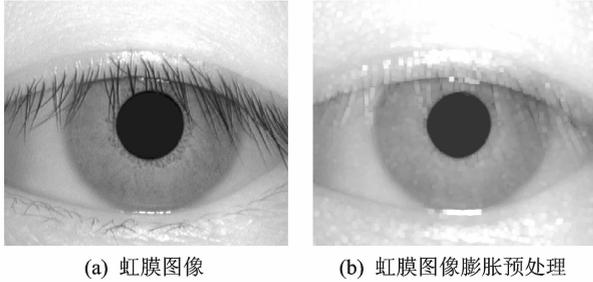


图 2 虹膜图像及其预处理

(2) 对膨胀后的图像  $I_D(x, y)$  做小波分解,利用小波变换的多分辨率特性,可将图像分解为低频近似分量和不同方向上的高频细节分量。

(3) 低频部分,软阈值去噪后得  $I'_D(x, y)$ ,然后用反锐化掩膜法<sup>[6]</sup>对  $I'_D(x, y)$  增强边缘信息。反锐化掩膜法是将低频图像  $I'_D(x, y)$  与原始图像  $I_D(x, y)$  相减得到整个图像的高频信息,对高频信息进行放大后再叠加到原图上,即可增强边缘细节信息,同时保持低频信息不变,基本算法为

$$I_{\text{new}}(i, j) = I'_D(i, j) + K[I_D(i, j) - I'_D(i, j)] \quad (6)$$

式中:  $I_D(i, j)$  为原始低频图像,  $I_{\text{new}}(i, j)$  为增强边缘后的低频图像,  $I'_D(i, j)$  为低通滤波后的低频图像,  $K$  为增强系数,  $K$  值取值应适当,过高会产生失真,过低则增强效果不明显。为了较好地处理光照不均的图像,本实验中  $K$  的取值与原始图像的灰度相结合,  $K = 2 \cdot \text{sgn}[I_D(i, j) - I'_D(i, j)]$  时可以达到灰度补偿的效果。

(4) 高频部分,因高频分量含较多细节信息,对其采用非线性函数<sup>[12]</sup>进行对比度增强。通过调整转换函数的系数值即调节提升幅度。非线性转换函数为

波变换的优点,提出一种形态学膨胀运算与小波分析相结合的睫毛干扰抑制算法,算法流程如图 1 所示。

$$W_{\text{new}}^i = \alpha \cdot \left( \frac{1}{\exp[c \cdot (b - W_{dd}^i)]} - \frac{1}{\exp[c \cdot (b + W_{dd}^i)]} \right) \quad (7)$$

式中:  $W_{dd}^i$  表示的是原始的小波系数;  $\alpha$  决定增强的程度;  $a, b, c$  为常数。  $a$  可以由式(8)得到

$$a = \frac{1}{1 + \exp[c \cdot (b - 1)]} - \frac{1}{1 + \exp[c \cdot (b + 1)]} \quad (8)$$

本文增强的图像系数选取为  $b = 0.2, c = 3$ 。

(5) 对处理后的小波系数进行小波逆变换,重构图像  $\tilde{I}_{\text{new}}(x, y)$ 。

## 2 实验结果与讨论

本文设计了一系列对比实验来考察本文算法对睫毛干扰的抑制能力以及对虹膜定位算法的影响。仿真实验均在 Matlab R2009a 环境下编程实现,所选用的 500 幅虹膜图像全部来自中科院 CASIA1.0 库(<http://www.datatang.com/>)。

### 2.1 本文算法的睫毛干扰抑制能力

对比试验如下:针对每一幅虹膜图像,分别用高斯滤波法和本文算法对睫毛噪声去除,然后利用 Daugman 所提的虹膜定位算法进行定位虹膜,实验过程中虹膜定位算法的参数保持一致。虹膜定位的对比实验结果,如图 3 所示。

由图 3 可见,高斯滤波算法对睫毛的抑制能力相对较弱,消除的睫毛较少。相对于常用的高斯滤波算法而言,本文算法能够使大多数睫毛干扰融入图像背景之中,有利于提高虹膜定位算法的成功率。

### 2.2 本文算法对虹膜定位算法性能的改善

上述实验表明:本文算法可以大幅度降低睫毛干扰像素点,具有更好的睫毛干扰抑制性能。为了

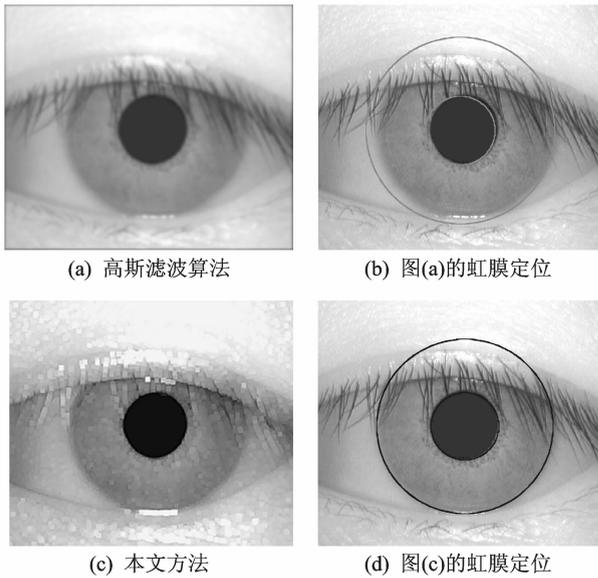


图3 仿真对比实验结果

定量地说明本文算法能对虹膜定位性能的提高,现做如下对比试验:分别利用高斯滤波算法和本文算法消除虹膜图像中的干扰,然后利用通行的Daugman和Wildes的定位算法对虹膜进行定位,比较定位算法的定位精度和定位时间的性能指标,如表1所示。

表1 高斯滤波算法与本文算法的结果对比

虹膜定位算法	高斯滤波算法		本文算法	
	正确率/%	时间/s	正确率/%	时间/s
Daugman 算法 <sup>[2]</sup>	96.3	7.1	98.6	5.9
Wildes 算法 <sup>[9]</sup>	93.4	10.2	96.7	7.4

由表1可见,本文算法可以使虹膜定位算法的定位精度更高、定位速度更快。相对常用的高斯滤波法而言,本文算法可以使Daugman和Wildes定位算法的精确度分别提高2.1%和2.43%;定位时间相对减少24.3%和22.6%。以上结果表明,本文算法能更好地抑制睫毛干扰,改善虹膜定位算法的性能,很适合在虹膜识别技术中的应用。

### 3 结束语

本文提出一种基于形态学算子和小波变换结合的睫毛抑制算法。该算法首先将虹膜图像中的睫毛区域模拟成背景图像中的“裂缝”,通过改进的形态学膨胀算子对裂缝区域进行像素填充,然后利用小波变换的多分辨率特性,对变换后的高频系数进行非线性小波阈值处理,低频部分进行反锐化掩膜,最后经小波逆变换重构虹膜图像。仿真实验表明:本文算法可以使Daugman和Wildes定位算

法的精确度分别提高2.1%和2.43%;定位时间相对减少24.3%和22.6%。因此,基于形态学算子和小波变换的虹膜去噪算法对虹膜的抑制能力更强,很适合在虹膜识别技术中应用。

#### 参考文献:

- [1] Masek L. Recognition of human iris patterns for biometric identification[ED/OL]. (2003-12) [2006-10]. <http://www.csse.uwa.edu.au/~pk/student-projects/libor/>.
- [2] Daugman J G. Probing the uniqueness and randomness of iris codes: results from 200 billion iris pair Comparisons[C]//Proceedings of the IEEE. [S.l.]: IEEE, 2006,94(11):1927-1935.
- [3] Wu Y, Feng G. An iris recognition algorithm based on DCT[J]. Microcomputer Information, 2007, 25(9):270-208.
- [4] 唐荣年,翁绍捷,韩九强,等.基于形态学算子的睫毛干扰抑制算法[J].光电工程,2009,36(12):103-107.  
Tang Rongnian, Weng Shaojie, Han Jiuqiang, et al. Suppressing eyelash interference based on morphological operator[J]. Opto-Electronic Engineering, 2009,36(12):103-107.
- [5] 桑恩方,沈郑燕,卞红雨,等.形态小波域声纳图像去噪算法[J].数据采集与处理,2010,25(3):325-331.  
Sang Enfang, Shen Zhengyan, Bian Hongyu, et al. Sonar image denoising algorithm in morphological wavelet domain[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2010,25(3):325-331.
- [6] 阮秋琦,阮宇智.数字图像处理[M].北京:电子工业出版社,2011.  
Ruan Qiuqi, Ruan Yuzhi. Digital image processing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011.
- [7] 陈晓倩,许孜奕,陆丽,等.基于脸部特征的性别识别[J].数据采集与处理,2010,25(5):596-600.  
Chen Xiaoqian, Xu Ziyi, Lu Li, et al. Gender recognition based on face features[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2010,25(5):596-600.
- [8] 胡文瑾,王维兰,刘仲民.一种基于样本块的快速图像修复算法,数据采集与处理,2011,26(6):626-630.  
Hu Wenjin, Wang Weilan, Liu Zhongmin. Improved exemplar-based method for image in painting [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2011,26(6):626-630.
- [9] Wildes R, Asmuth J, Green G, et al. A machine-

- vision system of riris recognition[J]. Mach Vis Applic, 1996(9):1-8.
- [10] 康金磊, 郭业才. 基于蚁群和 Hough 变换的虹膜定位算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(11A): 384-385, 394.
- Kang Jinglei, Guo Yecai. Iris location algorithm based on ant colony and hough transform[J]. Computer Science, 2012, 39(11A): 384-385, 394.
- [11] 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, 32(2): 230-233.
- Chen Gong, Zhou Youling. Iris location based on Hough transform[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2004, 32(2): 230-233.
- [12] Huang C X, Chen J X. Medical image fusion based on regional similarity of wavelet coefficients[J]. Application Reserch of Computers, 2008, 25(1): 274-276.
- [13] 向东阳, 吴正国. 改进的小波变换系数相关去噪方法[J]. 振动、测试与诊断, 2010, 30(5): 561-565.
- Xiang Dongyang, Wu Zhengguo. An improved wavelet coefficient denoising methods[J]. Journal of Vibration, Measurement and Diagnosis, 2010, 30(5): 561-565.
- [14] 李均利, 魏平, 侯艳芹, 等. 一种基于模糊规则和小波变换的医学图像锐化增强算法[J]. 中国生物医学工程学报, 2008, 27(2): 234-239.
- Li Junli, Wei Ping, Hou Yanqin, et al. A method for medical image sharpening enhancement based on fuzzy rules and wavelet transformation[J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2008, 27(2): 234-239.
- [15] Scheunders P. Wavelet-based enhancement and denoising using multi-scale structure tensor[C]// Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing. New York: IEEE Computer Society Press, 2002, 3: 569-572.
- [16] 刘国英, 林立宇, 王雷光, 等. 基于小波分解的变尺度多分辨率纹理分割[J]. 数据采集与处理, 2010, 25(2): 165-170.
- Liu Guoying, Lin Liyu, Wang Leiguang, et al. Multi-resolution texture image segmentation on variable scale based on wavelet decomposition[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2010, 25(2): 165-170.

**作者简介:**郭业才(1962-),男,教授,博士生导师,研究方向:生物医学信息与图像处理, E-mail: guo-yecai@163.com; 康景磊(1983-),男,硕士研究生,研究方向:图像处理。