

基于二维小波变换的圆形算子虹膜定位算法

赵 静

(宁夏大学 数学计算机学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 为了提高虹膜定位的准确率和速度, 提出了一种基于二维小波变换的 Daugman 圆形算子虹膜定位改进算法。首先采用阈值法分割瞳孔, 使用边缘检测算子检测瞳孔区域边缘定位虹膜内边缘, 然后采用二维小波变换对人眼图像处理以降低图像分辨率, 以代替 Daugman 圆形算子中的平滑函数处理, 最后采用圆形边缘检测算子计算滑动窗内的圆形边缘, 比较滑动窗口的圆内区域与圆外区域的灰度均值来定位虹膜外边缘。仿真结果表明该算法定位虹膜内外边界的平均时间为 1.85s, 准确率为 99.6%, 在虹膜识别系统中有较高的实际应用价值。

关键词: 虹膜识别; 虹膜定位; 二维小波变换; Daugman 圆形算子

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)04-0051-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.04.012

Circular Operator Iris Localization Algorithm Based on Two-dimensional Wavelet Transform

ZHAO Jing

(College of Mathematics and Computer Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: An improved iris localization algorithm of circular operator based on two-dimensional wavelet transform is proposed to improve the accuracy and the speed of the iris localization. Firstly, the algorithm segments the pupil area of the iris by the threshold. Secondly it locates the iris inner edge by the edge detection operator in the pupil area. Thirdly the human eye iris image is processed by the two-dimensional wavelet transform to reduce the image resolution instead of the smoothing function in the Daugman circular operator. Finally it gets the circular edge of the sliding window by the circular edge detection operator, and compares the circle inside mean gray with the circle outside mean gray to locate the iris outer edge. The simulation results show that the algorithm locates the iris inner and outer edge with 1.85s average time and 99.6% accuracy rate. The algorithm has a higher practical value in the iris recognition system.

Key words: iris recognition; iris localization; two-dimensional wavelet transform; Daugman circular operator

0 引 言

虹膜识别具有唯一性、稳定性、可采集性等优点, 是最可靠的身份识别方法之一。虹膜识别技术主要由以下几个环节组成: 虹膜图像采集、虹膜定位、特征提取、匹配与识别, 其中虹膜定位是较为主要的环节^[1]。虹膜定位是指确定人眼图像中的虹膜内边缘(瞳孔)区域与虹膜外边缘区域, 整个虹膜识别系统方案是否实用可行, 首先取决于虹膜定位的速度和准确性^[2]。

当前, 主要有三类虹膜内外边缘定位算法。微积分圆形边缘检测算子定位算法由 John Daugman 提出^[3], 其定位出虹膜的内外边界是通过利用微积分算

子搜索圆形边界。Wildes R P 提出了一种二维高斯算子与边缘检测算子相结合的 Hough 变换算法定位虹膜内外边缘^[4]。王蕴红等首先采用阈值法分割瞳孔, 然后用 Canny 算子对原图像进行边缘检测, 最后采用最小二乘法拟合得到虹膜内外边缘的定位参数^[5]。还有其它在这些算法的基础上所提出的相关改进算法^[6-9]。这些算法均取得了较好的定位效果, 但是不能满足实际应用中所要求的准确率。同时上述算法需要进行三维空间搜索, 定位速度较慢, 也不能满足实际应用中定位速度的要求。

文中提出了一种基于二维小波变换的 Daugman 圆形算子虹膜定位改进算法。本算法采用阈值法分割瞳孔, 通过边缘检测算子检测瞳孔边缘, 计算瞳孔圆心和半径, 对图像进行二维小波变换降低图像的分辨率, 采用圆形边缘检测算子定位指定区域滑动窗口内的圆形边缘, 最后比较滑动窗口内圆内区域与圆外区域的灰度均值来定位虹膜外边缘。本算法在二维空间的指

收稿日期: 2012-07-27; 修回日期: 2012-10-29

基金项目: 宁夏自然科学基金资助项目(NZ1137); 宁夏大学科研基金资助项目(NDZR10-22)

作者简介: 赵 静(1977-), 女, 宁夏银川人, 副教授, 硕士, 研究方向为图形图像处理、多媒体应用技术。

定区域进行搜索,提高了定位速度,定位虹膜的边缘准确率为 100%,定位虹膜的外边缘准确率为 99.6%,定位一幅图像的平均时间为 1.85s。该算法的算法复杂度较低易于硬件实现。

1 内边缘(瞳孔)定位

人眼部图像具有一定的灰度分布特点,巩膜灰度要大于虹膜灰度,而虹膜灰度又大于瞳孔灰度^[6]。本算法首先采用阈值法分割瞳孔,然后采用边缘检测算子检测瞳孔区域边缘的方法定位内边缘。

算法实现过程如下:

(1)用 3×3 邻域均值低通滤波模板对图像进行处理,对处理后的图像找灰度值最小点。该点为人眼图像瞳孔内的任意一点 p 。

(2)以该点的灰度值为阈值,在原图像上进行瞳孔分割处理。

(3)采用 Sobel 算子对分割出的瞳孔图像进行边缘检测,得到瞳孔边缘图。

(4)应用所得瞳孔内的任意一点 p 的坐标及瞳孔边缘图,求得瞳孔的圆心及半径。计算过所得点 p 的 x 轴平行线与瞳孔边缘的两个交点 P_1, P_1' ,及距离该点垂直模板步长的另一个 x 轴平行线与瞳孔边缘的两个交点 P_2, P_2' 。 $b_1 = (y_1 + y_1')/2$,其中 y_1 为 P_1 的 y 坐标, y_1' 为 P_1' 的 y 坐标。同理,计算 b_2 。 $b = (b_1 + b_2)/2$ 为所得圆心的 y 坐标。计算 $y = b$ 与瞳孔边缘的两个交点 P_3, P_3' 。计算 $a = (x_3 + x_3')/2$, $R = (x_3' - x_3)/2$, 其中 x_3 为 P_3 的 x 坐标, x_3' 为 P_3' 的 x 坐标。可计算出瞳孔边缘的圆心 (a, b) 和半径 R 。计算过程如图 1 所示。

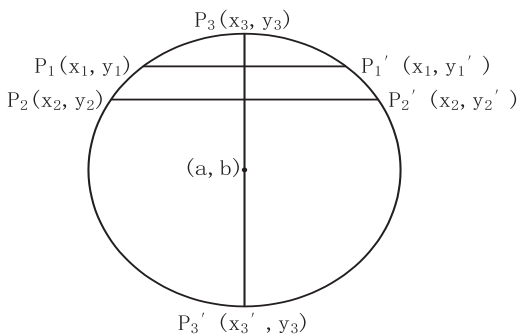


图 1 虹膜内边缘圆心、半径计算示意图

2 虹膜外边缘定位

John Daugman 提出了积分圆形边缘检测算子^[3],如式(1)所示。

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

其中, $*$ 是卷积运算; $G_\sigma(r)$ 为平滑函数,可选尺

度为 σ 的高斯函数; r 为虹膜半径。该算子以图像上的每点 (x_0, y_0) 为圆心,搜索某一半径范围内圆周像素灰度值的积分对 r 的差分最大的圆进行定位。在编程实现过程中,较多采取式(2)来判断像素点是否在以 (x_p, y_p) 点为圆心, d_r 为半径的圆上。

$$\sqrt{(x_r - x_p)^2 + (y_r - y_p)^2} < d_r \quad (2)$$

该算法需要在整个图像区域进行圆心和半径的搜索,算法复杂度较高,搜索时间较长,准确度较低。

由于虹膜内外边缘虽然不能认为是同心圆但存在耦合关系^[3],文中在已经求得的瞳孔圆心和半径的基础上,采用二维小波变换处理代替 $G_\sigma(r)$ 平滑函数,以降低图像分辨率,然后根据圆形边缘检测算子的圆内与圆外区域进行灰度均值比较的方法定位虹膜外边缘。

2.1 二维小波变换处理

图像的二维特性决定了在将小波变换转换到图像处理时,需将小波处理由一维推广到二维。设 $\psi(t) \in L^2(R)$ ($L^2(R)$ 表示平方可积的实数空间),其傅立叶变换为 $\psi(\omega)$ 。当 $\psi(\omega)$ 满足容许条件

$$C_\psi = \int_R \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (3)$$

时,称 $\psi(t)$ 为一个基本小波或母小波^[10]。

将 $\psi(t)$ 经过伸缩和平移可得到小波序列

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4)$$

二维连续小波定义为:

$$W_f(a, b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = |a|^{-1/2} \int_R f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (5)$$

二维连续小波变换在进行图像处理时需离散化。首先将尺度参数 a 和平移参数 b 进行离散化, $a = a_0^j$, $b = ka_0^j b_0$, 其中 $j \in Z$, $a_0 \neq 1$ 。可得离散小波函数

$$\Psi_{j,k}(t) = a_0^{-j/2} \Psi\left(\frac{t - ka_0^j b_0}{a_0^j}\right) \quad (6)$$

其中离散化的小波变换系数为:

$$C_{j,k} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi_{j,k}^*(t) dt = \langle f, \Psi_{j,k} \rangle \quad (7)$$

进行人眼图像处理时,由一维小波函数和尺度函数可用分离变量的方法构造二维小波函数和二维尺度函数^[10]。

$$\begin{aligned} \Phi(x, y) &= \varphi(x) \varphi(y) \\ \Psi^{(1)} &= \varphi(x) \psi(y) \\ \Psi^{(2)} &= \psi(x) \varphi(y) \\ \Psi^{(3)} &= \psi(x) \psi(y) \end{aligned} \quad (8)$$

二维小波变换对图像处理具有多分辨率分析的特

性。小波函数的二维分解过程可以通过两步完成。首先将二维信号 $f(x,y)$ (即人眼图像)的每一行数作为一维信号进行小波分解,然后将行分解结果的每一列看作以 y 为自变量的一维函数,再作一次针对于 y 值的小波分解。于是二维信号 $f(x,y)$ 被分解为四个子波段,即图像处理结果分别为四个子图,根据高频率和低频率特征分别称 LL、LH、HL、HH^[11]。

文中实验采用 CDF 构造方法,构造出 $M = 4$ 的 CDF7-9 小波,其系数如表 1 所示^[11]。

表 1 CDF7-9 小波

$2\tilde{N}, 2N$	k	$\frac{1}{\sqrt{2}}\{\tilde{h}_k\}$		$\frac{1}{\sqrt{2}}\{h_k\}$	
4,4	0	0.5571	0.5433	0.6024	0.9492
		0.5263	0.2297	0.0182	0.2365
	-1,1	0.2955	0.6358	0.2263	0.8647
		0.8812	0.5573	0.1187	0.4430
	-2,2	-0.0287	-0.7715	-0.0783	-0.2237
		-0.7634	-0.1142	-0.2665	-0.5292
	-3,3	-0.0456	-0.6351	-0.0161	-0.8645
		-0.8812	-0.5575	-0.1186	-0.4437
	-4,4	0.000		0.0261	0.7481
				0.7573	0.4113

采用 CDF7-9 小波对人眼图像进行处理后,可得 LL、LH、HL、HH 四幅子图像,其中 LL 图像为经过 x 维低通滤波处理和 y 维低通滤波处理后所得到的图像,LL 子图所包含的 x 维和 y 维信号均为低频信号分量,是原人眼图像经过降低分辨率后得到的图像,所以采取 LL 子图像进行进一步的虹膜外边缘定位。

2.2 改进 Daugman 算子法提取虹膜外边缘

在已经求得的瞳孔圆心 (a,b) 和半径 R 的基础上,对经过二维小波处理后的低分辨率图像,采用圆形边缘检测算子来定位指定区域滑动窗口内的圆形边缘,最后比较滑动窗口内圆内区域与圆外区域的灰度均值来定位虹膜外边缘。

算法实现过程如下:

由于上下眼皮及睫毛会影响虹膜外边缘定位,所以只取瞳孔上下边缘平行线内区域的图像进行虹膜外边缘定位处理。

(1)计算右部分平行线内虹膜外边缘。

取 $2R \times R$ 大小活动窗口,由瞳孔右侧边缘起,沿平行线向右滑动计算。通过 Daugman 圆形边缘检测算子计算过窗口中心点到瞳孔圆心 (a,b) 的窗口内圆形边缘。所得圆形边缘将窗口区域划分为圆内区域和圆外区域两部分,分别计算两部分灰度均值差。同时满足以下三个条件:圆外区域灰度均值大于圆内区域灰度均值;两部分灰度均值差最大;圆形边缘分别与上下平行线及过瞳孔圆心平行线的交点 P_1 、 P_2 、 P_3 之

间灰度差别较小(可排除眼框边缘情况)。可判断该圆形边缘为右侧虹膜外边缘,取其圆形边缘半径为 R_R 。计算过程如图 2 所示。

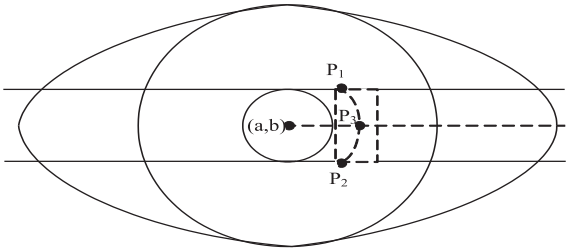


图 2 虹膜右侧外边缘计算示意图

(2) 计算左部分平行线内虹膜外边缘。

与计算右部分虹膜外边缘同理,取窗口,计算窗口内圆形边缘,计算圆内区域和圆外区域平均灰度,判断满足三个条件的圆形边缘为左侧虹膜外边缘,取其圆形边缘半径为 R_L 。

(3) 计算虹膜外边缘的圆心和半径。

由于虹膜的外边缘圆心与瞳孔圆心存在部分误差,取虹膜的外边缘半径 $R_{OUT} = (R_L + R_R)/2$,取虹膜的外边缘圆心为 (A,B) ,其中 $A = a - R_L + R_{OUT}$, $B = b$ 。

3 实验结果分析

本算法采用 CASIA1.0 版本虹膜数据库内 756 幅图像,在 matlab7.0 环境下进行实验。

图 3 为对 CASIA1.0 版本虹膜数据库中的‘002_1_1.bmp’图像处理所得到的 4 幅结果图像。其中图 3 (a) 为原图,图 3(b) 为采用阈值法分割瞳孔所得的瞳孔图像,图 3(c) 为原图经二维小波处理后所得 LL、LH、HL、HH 四幅图像中的 LL 图像,图 3(d) 为对原图的虹膜内外边缘定位结果图。

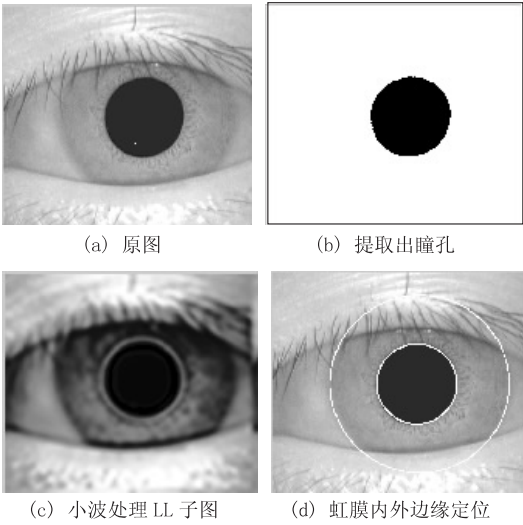


图 3 ‘002_1_1.bmp’图虹膜定位处理图

由图 3 可看出即使在虹膜外边缘与瞳孔不是同心

圆的情况下,本算法也可以较为准确地定位虹膜的内外边缘。

CASIA1.0 版本虹膜数据库 756 幅人眼图像中,经本算法处理可 100% 准确定位虹膜内边缘,可 99.6% 准确定位虹膜外边缘。756 幅图像中 753 幅可准确定位其虹膜内外边缘,‘004_2_1.bmp’、‘041_2_2.bmp’、‘106_1_1.bmp’三幅图像定位虹膜外边缘存在误差。

图 4 为定位虹膜内外边缘的结果图,其中图 4(a)和图 4(b)为可准确定位的情况,图 4(c)和图 4(d)为存在定位误差的情况。实验计算结果为定位一幅图像的平均时间为 1.85s。从实验结果可以看出,本算法的算法复杂度低,准确率较高,所需时间较短,利于硬件实现,在虹膜识别系统中有较高的实际应用价值。

图 4 定位虹膜内外边缘结果图

4 结束语

文中提出了一种改进的基于二维小波变换与 Daugman 圆形算子的虹膜内外边缘定位算法。该算法仅在指定区域进行二维空间内的搜索,算法复杂度较

低,可在确保定位准确率的前提下提高定位速度。该算法可 100% 准确定位虹膜内边界,99.6% 准确定位虹膜内外边界。该算法的准确率较高,所需时间较短,算法复杂度较低,易于硬件实现,在虹膜识别系统及相关设备实现中有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 陈广华,何希勤,刘向东.一种有效的虹膜定位及睫毛检测方法[J].计算机工程与应用,2010,46(6):171-173.
- [2] 周俊,罗挺,王友斌,等.一种基于几何特征的虹膜定位算法[J].后勤工程学院学报,2010,26(3):81-85.
- [3] Daugman J G. High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine,1993,15(11):1148-1161.
- [4] Wildes R P. Automated Iris Recognition; An Emerging Biometric Technology[J]. Proc. of the IEEE,1997,85(9):1348-1363.
- [5] 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.
- [6] Shamsi M, Saad P B, Ibrahim S B, et al. Fast Algorithm for Iris Localization Using Daugman Circular Integro Differential Operator[C]//Proc of the 2009 International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009:393-398.
- [7] 杜德生,高雪莲,张格森.一种快速虹膜定位方法[J].计算机工程与应用,2010,46(7):165-167.
- [8] Tian Qichuan, Pan Quan, Cheng Yongmei, et al. Fast algorithm and application of Hough transform in iris segmentation[C]//Proc of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. [s. l.]: [s. n.], 2004:3977-3980.
- [9] 李晶晶,张健.虹膜图像内外边缘定位算法研究[J].通信技术,2010,43(5):178-180.
- [10] 闫敬文,屈小波.超小波分析及应用[M].北京:国防工业出版社,2008.
- [11] 赵静,唐晓静.小波变换及骨架提取在图像边缘检测中的应用[J].宁夏大学学报,2004,25(4):328-329.

(上接第 50 页)

- 路由算法的研究与改进[J].计算机技术与发展,2011,21(3):150-153.
- [4] 谢希仁.计算机网络[M].北京:电子工业出版社,2007.
 - [5] Stevens W R. TCP/IP 详解,卷 1:协议[M].北京:机械工业出版社,2000.
 - [6] 于宏毅,陈万寿.无线移动自组网[M].北京:人民邮电出版社,2005.
 - [7] Pei Guangyu, Gerla M, Chen T W. Fisheye state routing in mobile Ad Hoc networks[C]//Proceedings of ICC'2000. [s. l.]: Taiwan, 2000:71-78.
 - [8] Jacquet P, Muhlethaler P, Clausen T, et al. Optimized link

- state routing protocol for Ad hoc networks[C]//Proc of IEE INMIC'01. Lahore, Pakistan: [s. n.], 2001:62-68.
- [9] 梁海莲,张曦煌,须文波.基于 OOP 的 OLSR 路由协议的一种实现方案[J].微计算机信息,2007(27):125-126.
 - [10] Qayyum A, Viennot L, Laouiti A. Multipoint relaying for flooding broadcast messages in mobile wireless networks[C]//Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference. Hawaii: IEEE, 2002:3866-3875.
 - [11] Sheng Min, Li Jiangdong, Shi Yan. Relative degree adaptive flooding broadcasting algorithm for ad hoc network[J]. IEEE Trans on Broadcasting, 2005, 51(2):216-222.

基于二维小波变换的圆形算子虹膜定位算法

作者: [赵静](#)
作者单位: [宁夏大学 数学计算机学院, 宁夏 银川 750021](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201304014.aspx