

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2021.01.008

医学影像物理

基于轮廓匹配和多项式拟合的虹膜分割算法

张薇¹, 李菁¹, 吕晓琪^{1,2}

1. 内蒙古科技大学信息工程学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 内蒙古工业大学信息工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010051

【摘要】虹膜图像在采集过程中由于个体差异、采集环境等因素的影响,存在遮挡、偏角等噪声。针对该问题,提出一种基于轮廓匹配和多项式拟合的虹膜分割方法。首先将虹膜图像分为理想型虹膜图像与非理想型虹膜图像;其次针对理想型虹膜图像,根据圆的标准方程检测虹膜边界实现虹膜分割,针对非理想型虹膜图像,通过轮廓匹配算法获得带遮挡部分的虹膜后,采用多项式拟合的方法去除眼睑等遮挡部分,实现虹膜的准确分割。本文算法实现虹膜分割的错误率 nice1 为 1.5%, nice2 为 1.9%, 且 F1 值达到 93.65%。结果表明,该方法能够有效地去除虹膜图像中的遮挡噪声,具有较高的虹膜分割准确率。

【关键词】虹膜; 图像分割; 轮廓匹配; 多项式拟合

【中图分类号】R318; TP391.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)01-0047-04

Iris segmentation algorithm based on contour matching and polynomial fitting

ZHANG Wei¹, LI Jing¹, LÜ Xiaoqi^{1,2}

1. School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 2. School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China

Abstract: In the process of iris image acquisition, there are noises such as occlusion and declination due to individual differences, acquisition environment and other factors. Aiming at this problem, an iris segmentation method based on contour matching and polynomial fitting is proposed. First, the iris images are divided into ideal iris images and non-ideal iris images. Then, for ideal iris images, the iris segmentation is realized by detecting the iris boundary according to the standard equation of circle, and for non-ideal iris images, after obtaining the irises with occluded part through the contour matching algorithm, the polynomial fitting method is used to remove the occluded part such as eyelid to realize the accurate segmentation of irises. In this paper, the error rate of this iris segmentation is 1.5% for nice1 and 1.9% for nice2, and the F1 value reaches 93.65%. The results show that this method can effectively remove the occlusion noise in iris images and has a high accuracy of iris segmentation.

Keywords: iris; image segmentation; contour matching; polynomial fitting

前言

信息技术的快速发展,使得信息安全问题日益突出。身份的正确识别是信息安全中的重要部分,常见的传统身份认证包括密码、身份证等,但在应用过程中,往往会出现遗忘、丢失、被盗用等问题,这给身份识别带来了诸多不安全因素。随着人们的安全

意识逐步提高,对身份识别的安全性与准确性也提出了更高的要求^[1-2]。在基于生物特征的身份识别技术中,由于虹膜具有长期稳定性、独特性与非侵入性,因此基于虹膜的身份认证系统更具安全性与可靠性^[3-4]。

虹膜识别的主要流程包括虹膜图像的获取、处理与特征对比^[5-6]。其中,虹膜分割是虹膜图像处理的关键步骤,在实际应用中,虹膜图像受到遮挡、光照、瞳孔收缩与扩张等因素的影响,对虹膜分割的准确性将直接影响虹膜识别的精度。

目前存在多种人眼虹膜分割方法,何家峰等^[7]提出一种粗定位与精定位相结合的两步定位法,针对虹膜图像,首先利用灰度投影对虹膜区域进行粗定位,然后利用圆形模板进行精定位。Daugman^[8]提出利用微积分的圆形检测算子来定位虹膜位置。魏

【收稿日期】2020-08-12

【基金项目】国家自然科学基金(61771266, 61179019);包头市科技计划项目(2015C2006-14)

【作者简介】张薇,硕士研究生,主要从事医学图像处理、模式识别等研究, E-mail: zw34133193@163.com

【通信作者】李菁,副教授,主要从事计算机技术方面的研究, E-mail: Lijingbt@126.com; 吕晓琪,博士,教授,博士生导师,主要从事智能图像处理、模式识别等方面的研究, E-mail: lxiaoqi@imut.edu.cn

炜^[9]提出一种基于圆几何特征的虹膜内边缘定位算法。许威等^[10]采用基于几何灰度投影的方法粗定位虹膜内边界,使用改进的Daugman定位算子定位外边界,再用最小二乘圆拟合方法对内外边界进行圆拟合,最终实现虹膜的分割。林绍辉等^[11]在Adaboost检测人脸区域的基础上,提出基于多结构鲁棒估计的虹膜外边缘定位方法。薛雅迪等^[12]为提高虹膜定位的准确性与实时性,提出基于二次圆周补偿的虹膜边界定位算法。

虽然上述算法在虹膜图像中对虹膜定位均取得了较好的效果,但是由于虹膜图像的获取环境并非完全理想,在虹膜图像存在遮挡、偏角等噪声的影响,上述算法在质量不佳的虹膜图像中应用受到限制。本文提出一种基于轮廓匹配和多项式拟合的虹膜分割方法。针对理想型虹膜与非理想型虹膜,提出不同的拟合曲线检测虹膜边界,从而实现虹膜的准确分割。

1 虹膜分割

1.1 数据集

ND-IRIS-0405数据集^[13]来自巴黎圣母大学计算机视觉研究实验室,该数据集使用LG2200系统获取虹膜图像,由来自100个不同个体并且聚焦良好的虹膜图像组成,共包含64 980个图像。该数据库虹膜图像像素为640×480。对于虹膜的分割金标准,本实验使用了Hofbauer等^[14]提供的虹膜标注图像。

1.2 图像预处理

由于在虹膜图像的获取过程中,存在睫毛遮挡、光照反射、拍摄偏角等噪声的影响,获取到的虹膜图像存在不完整的情况。因此,本文将虹膜图像分为理想型虹膜和非理想型虹膜,如图1所示。理想型虹膜图像为没有遮挡的完整虹膜图像;非理想型虹膜图像为虹膜存在遮挡的虹膜图像。

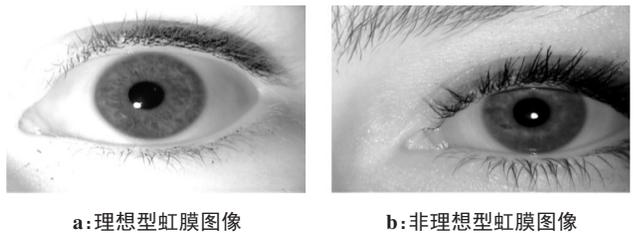


图1 虹膜类型示意图

Fig.1 Schematic diagram of iris type

1.3 虹膜轮廓检测

在虹膜图像中,由于瞳孔与虹膜外的边缘均近

似为圆形,因此利用轮廓匹配算法检测虹膜边界。首先设置圆形滤波器,以模糊搜索半径 r_1 近似得到瞳孔的近似圆心 $O(x_0, y_0)$;其次根据所得瞳孔近似圆心 $O(x_0, y_0)$ 再次设置圆形滤波器的搜索半径 r_2 ,最终得到精确的瞳孔圆心 $O(x_1, y_1)$ 与半径 r_0 ,由瞳孔圆心 $O(x_1, y_1)$ 与半径 r_0 确定虹膜的内边界;最后根据瞳孔圆心 $O(x_1, y_1)$ 、大于瞳孔半径 r_0 的搜索半径设计相应的圆形滤波器确定虹膜的外边界。

1.4 理想型虹膜分割

针对理想型虹膜图像,在虹膜轮廓检测的过程中,已知瞳孔的圆心和半径,根据圆的标准方程,求取圆环状虹膜区域,分割结果如图2所示。求取圆环状虹膜的公式如下:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \tag{1}$$

$$(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2 \leq r_0^2 \tag{2}$$

$$(x_i - x_2)^2 + (y_i - y_2)^2 \leq r_1^2 \tag{3}$$

其中, (x_i, y_i) 为图像坐标, (x_1, y_1) 为瞳孔圆心坐标, (x_2, y_2) 为虹膜圆心坐标, r_0, r_1 分别为瞳孔半径、虹膜半径。

1.5 非理想型虹膜分割

针对非理想型虹膜图像,其分割步骤如图3所示。为了减少巩膜等干扰信息,首先利用理想型虹膜分割方法提取被遮挡的圆环虹膜图像,然后利用多项式拟合方法去除眼睑以及遮挡部分。具体方法如下:

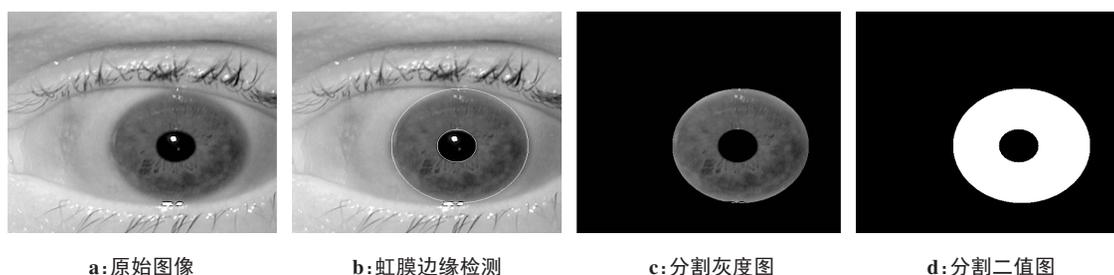
(1)将图像逆时针旋转 90° ,根据瞳孔的圆心 $O(x_1, y_1)$,以 $x=x_1$ 为中心线,将图像分为左右两部分,分别对应虹膜的上下两部分。

(2)分割虹膜的上眼睑部分。由于虹膜区域与眼睑之间灰度值的不同,根据它们之间的差异对图像进行二值化;其次求取眼睑区域的高度 h ,在 h 的范围内,对虹膜的边界进行边缘点的提取,为了虹膜边界拟合更加精确,在 h 的范围内平均提取20个点拟合眼睑边缘曲线;最后由于眼睑边缘大致相当于一抛物线,所以对提取的点进行二项式拟合,拟合方程如式(4)所示。最终根据拟合的曲线将上眼睑区域去除:

$$y = p(1) \times x^2 + p(2) \times x + p(3) \tag{4}$$

(3)分割虹膜的下眼睑部分,方法如上眼睑去除步骤,在取边缘点集时,将取点方向取反,最终根据拟合曲线将下眼睑区域去除。

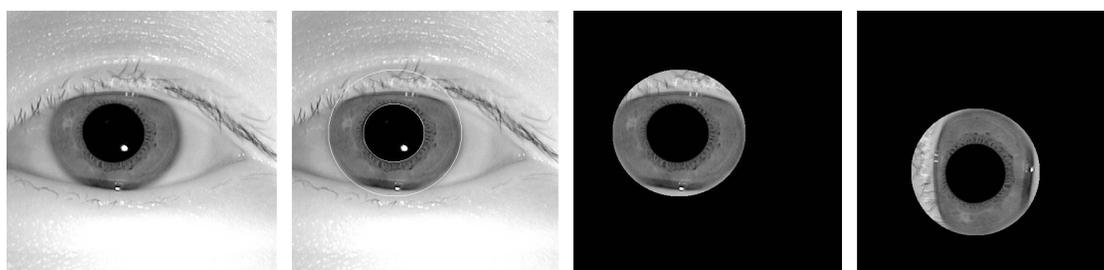
(4)合并去除眼睑后的上下虹膜部分,得到分割后的虹膜图像。



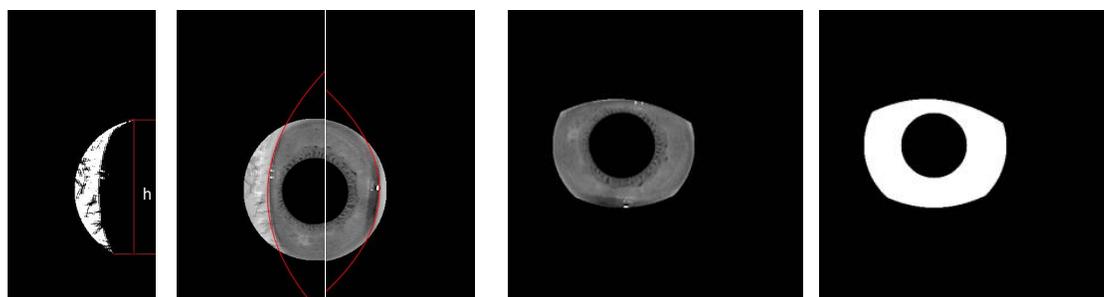
a: 原始图像 b: 虹膜边缘检测 c: 分割灰度图 d: 分割二值图

图2 理想型虹膜分割

Fig.2 Ideal iris segmentation



a: 原始图像 b: 虹膜边缘检测 c: 虹膜遮挡灰度图 d: 旋转图像



e: 眼睑范围图 f: 上下眼睑划线图 g: 分割灰度图 h: 分割二值图

图3 非理想型虹膜分割

Fig.3 No-ideal iris segmentation

2 实验结果及分析

虹膜分割算法的最终目的是从图像中检索虹膜区域, 本文将虹膜分割的结果分为4个部分, 如图4所示。其中真阳性(True Positive, TP)表示分割结果中分割正确的虹膜像素数; 假阳性(False Positive, FP)表示分割结果中错误的虹膜像素数; 假阴性(False Negative, FN)表示分割结果中未被识别的虹膜像素数; 真阴性(True Negative, TN)表示分割结果中未被识别的非虹膜像素数。

本文使用nice1竞赛^[15]的评估指标, 包括nice1分数和nice2分数。此外, 使用F1值来评估分割结果的准确性。nice1被广泛用于评估虹膜分割的错误率。分割误差分数nice1表示所有分割结果图像与真实图像不一致像素(通过逻辑XOR运算)的比例, 定义如下:

$$nice1 = \frac{1}{N \times m \times n} \sum_{k=1}^N \sum_{i,j \in (m,n)} G(i,j) \oplus O(i,j) \quad (5)$$

其中, N 代表图像个数, (m, n) 代表图像的空间分辨

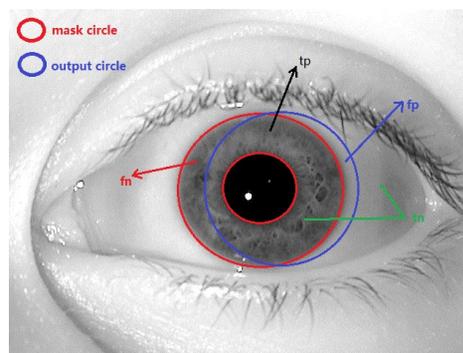


图4 虹膜分割结果示意图

Fig.4 Schematic diagram of iris segmentation results

率。 $G(i, j)$ 和 $O(i, j)$ 分别表示真实图像和输出结果图像的像素。

nice2也是一个错误分数, 由假阳性率(FPR)和假阴性率(FNR)求平均得出。FNR和FPR的定义如下:

$$FNR = \frac{FN}{FN + TP} \quad (6)$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \tag{7}$$

nice2的计算公式如下:

$$nice2 = \frac{1}{2} (FPR + FNR) \tag{8}$$

F1值是精度和召回的调和平均值,它能在一定程度上代表算法分割的准确度,它的计算公式如下:

$$F1 = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \tag{9}$$

本文的实验结果与其他方法对比如表1所示。

表1 实验结果比较(%)

Tab.1 Comparison of experimental results

方法	nice1	nice2	F1
文献[16]	6.08	8.42	89.49
文献[17]	11.61	14.70	76.51
文献[18]	15.32	23.72	62.78
文献[19]	5.65	6.73	88.62
文献[20]	3.91	4.07	91.92
本文方法	1.50	1.90	93.65

由表1可以看出,采用本文所提出基于轮廓匹配和多项式拟合的虹膜分割算法的方法对虹膜进行分割,错误率nice1为1.5%,nice2为1.9%,且F1值达到了93.65%;表1中Jalilian等^[20]所提出的全卷积编解码网络对于虹膜分割表现最好,与之相比,采用本文算法分割虹膜错误率nice1提高了2.41%,nice2提高了2.17%,F1值提高了1.73%。表明本文方法具有较高的准确率与较低的错误率。

3 结论

本文针对虹膜图像具有遮挡、偏角等噪声问题的情况,提出一种基于轮廓匹配和多项式拟合的虹膜分割方法,该方法针对理想型虹膜图像与非理想型虹膜图像,分别提出不同的虹膜边界拟合曲线,能够实现对虹膜较为准确的分割。实验采用虹膜分割流行的3个分数对算法进行评价,结果表明,采用本文方法进行虹膜分割,具有较高的分割准确率和较低的分割错误率。

本文提出的基于轮廓匹配和多项式拟合的虹膜分割算法对虹膜的分割准确率达到93.65%,与目前虹膜分割研究领域提出的深度学习算法相比,本文算法更适用于少量的虹膜图像分割,在节省处理时间的同时准确率较高,而处理大批量虹膜图像时,本文算法表现出一定的局限性。下一步工作将在虹膜批量分割的方向进行,通过改进算法,能够在提高虹膜分割效率的同时实现批量分割虹膜。

【参考文献】

[1] 杨秀,张轩雄.一种快速有效的虹膜定位方法[J].软件导刊,2019,18(1):67-70.
YANG X, ZHANG X X. A fast and effective iris location method[J]. Software Guide, 2019, 18(1): 67-70.

[2] MABUZA-HOCQUET G P, NELWAMONDO F, MARWALA T. Ethnicity prediction and classification from iris texture patterns: a survey on recent advances [C]//2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI). IEEE, 2016.

[3] 李海青,孙哲南,谭铁牛,等.虹膜识别技术进展与趋势[J].信息安全研究,2016,2(1):40-43.
LI H Q, SUN Z N, TAN T N, et al. Progress and trend of iris recognition technology[J]. Information Security Research, 2016, 2(1): 40-43.

[4] 寒冰,李彬.生物特征识别技术的应用与发展新趋势[J].中国安防,2010(8):40-43.
HAN B, LI B. Application and development trend of biometric technology[J]. China Security, 2010(8): 40-43.

[5] ZHAO D, LUO W, RAN L, et al. Negative iris recognition[J]. IEEE Trans Depend Secure, 2018, 15(99): 112-125.

[6] 张巍,吕晓琪,吴凉,等.基于典型医学图像的分类技术研究进展[J].激光与光电子学进展,2018,55(12):96-105.
ZHANG W, LV X Q, WU L, et al. Research progress of classification technology based on typical medical images[J]. Advances in Laser and Optoelectronics, 2018, 55(12): 96-105.

[7] 何家峰,廖曙铮,叶虎年,等.虹膜定位[J].中国图象图形学报,2000,5(3):253-255.
HE J F, LIAO S Z, YE H N, et al. Iris positioning[J]. Journal of Image and Graphics, 2000, 5(3): 253-255.

[8] DAUGMAN J. How iris recognition works [C]//International Conference on Image Processing. 2004.

[9] 魏炜.一种基于圆几何特征的虹膜定位算法[J].计算机系统应用,2010,19(10):217-220.
WEI W. An iris localization algorithm based on circular geometric features[J]. Journal of Computer Systems, 2010, 19(10): 217-220.

[10] 许威,权芳芳,姜媛媛,等.改进的算法在虹膜识别中的应用研究[J].计算机技术与发展,2013,23(3):34-37.
XU W, QUAN F F, JIANG Y Y, et al. Application of improved algorithm in iris recognition [J]. Computer Technology and Development, 2013, 23(3): 34-37.

[11] 林绍辉,吴云东.基于多结构鲁棒估计的虹膜外边缘定位方法[J].集美大学学报(自然科学版),2014,19(1):63-68.
LIN S H, WU Y D. Iris outer edge localization method based on multi-structure robust estimation[J]. Journal of Jimei University (Natural Science), 2014, 19(1): 63-68.

[12] 薛雅迪,王劲松,樊纯璨.基于二次圆周补偿的虹膜边界定位方法[J].激光与光电子学进展,2018,55(10):254-260.
XUE Y D, WANG J S, FAN C C. Iris boundary location method based on quadratic circumferential compensation[J]. Advances in Laser and Optoelectronics, 2018, 55(10): 254-260.

[13] PHILLIPS P J, SCRUGGS W T, O'TOOLE A J, et al. FRVT 2006 and ICE 2006 large-scale experimental results[J]. IEEE Trans Pattern Anal, 2009, 32(5): 831-846.

[14] HOFBAUER H, ALONSO-FERNANDEZ F, WILD P, et al. A ground truth for iris segmentation[C]//2014 22nd International Conference On Pattern Recognition. IEEE, 2014: 527-532.

[15] NICE. I-Noisy iris challenge evaluation, Part I [EB/OL]. 2009. <http://nice1.di.ubi.pt/index.html>.

[16] UHL A, WILD P. Weighted adaptive hough and ellipsoidal transforms for real-time iris segmentation [C]//2012 5th IAPR international conference on biometrics (ICB). IEEE, 2012: 283-290.

[17] RATHGEB C, UHL A, WILD P. Iris biometrics: from segmentation to template security[M]. Springer Science & Business Media, 2012.

[18] WILD P, HOFBAUER H, FERRYMAN J, et al. Segmentation-level fusion for iris recognition[C]//2015 International Conference of the Biometrics Special Interest Group (BIOSIG). IEEE, 2015: 1-6.

[19] PETROVSKA D, MAYOUE A. Description and documentation of the biosecure software library[Z]. 2007.

[20] JALILIAN E, UHL A. Iris segmentation using fully convolutional encoder-decoder networks[M]. Cham: Springer, 2017: 133-155.

(编辑:陈丽霞)