

文章编号: 2095-2163(2020)02-0128-04

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

应用于物联网设备快速准确的虹膜分割方法

张科

(东华大学 计算机科学与技术学院, 上海 201620)

摘要: 随着物联网设备用户数量的增长,物联网设备的安全性已成为人们关注的热点。在多种生物特征认证方法中,虹膜识别由于其具有高安全性而被视为极具前景的认证方法。然而虹膜识别没有成为基于生物特征认证方法的首选,这主要的原因是虹膜识别对于环境因素的严重依赖,环境噪声将导致分割的虹膜区域不准确,无法保证虹膜识别系统的稳定性。为了使虹膜分割能够应用于非理想的虹膜图像中,促进虹膜识别认证在物联网设备上的部署,提出了一种基于深度学习的快速准确的虹膜分割方法。研究在公共的虹膜数据集上进行了实验,实验的结果证明了本文的方法针对非理想虹膜图像进行分割时的有效性,并且提高了虹膜识别系统在物联网设备上的可用性。

关键词: 虹膜分割; 深度学习; 物联网设备

Fast and accurate iris segmentation on IoT devices

ZHANG Ke

(School of Computer Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China)

[Abstract] With the growth of IoT devices, the security of IoT devices has become a hot spot of concern. In a variety of biometric authentication methods, iris recognition is considered a promising authentication method due to its high security. However, iris recognition has not become the preferred bio-metric authentication method. The main challenge is the severe dependence of iris recognition on environmental factors, which can produce inaccurate segmentation of the iris region, and cause the instability of iris recognition. To enable iris segmentation to be applied to non-ideal iris images, and facilitate deployment of iris recognition authentication on IoT devices, the paper proposes a fast and accurate iris segmentation method based on deep learning. The paper performs experiments on public iris datasets, the results demonstrate the effectiveness of proposed segmentation method for non-ideal iris images, and the proposed method improves the usability of iris recognition on IoT devices.

[Key words] iris segmentation; deep learning; IoT devices

0 引言

物联网设备的普及为人们的生活带来了便利,但同时存在严重的安全风险。因此,安全的身份验证系统对于物联网设备至关重要。与指纹和面部识别相比,虹膜识别系统更加安全,在认证过程中不需要接触。因此,虹膜识别是物联网设备的理想安全认证方法。传统的虹膜识别需要在近红外照明下并且用户高度合作的环境下获取虹膜图像。然而,对于物联网设备的认证,虹膜识别通常需要在不受控制的环境条件下完成,这给虹膜识别技术提出了严峻的挑战。

虹膜分割是一种从人眼图像中定位虹膜区域和非虹膜区域的方法。该方法将生成一个相应的虹膜分类图像,为虹膜识别提供虹膜特征区域的位置信息。虹膜图像分割的效果会影响虹膜特征选择的正确性,进而直接影响最终虹膜识别的性能。对于在不可控的环境中获取的非理想人眼图像,虹膜分割会受到大量环境噪声的影响,其中包括:光照条件、

运动模糊、镜面反射等,导致传统的虹膜分割算法无法完成准确的虹膜定位。

近年来,相关研究者对非理想虹膜图像的分割技术进行了深入研究。先前的工作主要使用与图像处理相关的技术,基于诸如梯度和几何关系等特征来检索图像中的虹膜区域,并使用曲线来拟合虹膜的轮廓。通过这种方式,提出了一种基于改进的快速霍夫变换的抗噪虹膜分割方法,并采用多弧多线虹膜边界策略来定义虹膜边界^[1]。随后,一种使用椭圆拟合瞳孔和边缘边界的分割方法也被用于检测非理想虹膜图像的虹膜区域^[2]。除了使用椭圆拟合边界之外,其它方法还使用几何活动轮廓来细化虹膜边界,并且通过打开操作来抑制睫毛噪声^[3]。这些基于图像处理的改进的分割方法具有一定的抗噪能力,但处理噪声干扰的效果有限,分割效果不理想。

为了降低虹膜识别系统的环境要求并在物联网设备上实现快速准确的虹膜识别,研究提出了一种基于深度学习的轻量级的虹膜分割模型。在训练好

作者简介: 张科(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:深度学习。

收稿日期: 2019-11-26

虹膜分割模型后,该分割模型可以快速地产非理想虹膜图像的分割预测,适合虹膜识别在物联网设备上的部署。

1 相关工作

早期的虹膜分割方法通常针对在理想环境中获取的理想虹膜图像。霍夫变换用于从虹膜图像中检测圆形边界,然后基于虹膜或瞳孔半径的约束进行边缘图投票以确定虹膜图像边界^[4]。由于基于霍夫变换的圆形检测方法不够稳定,因此使用积分微分算子的新方法也可用于检测图像中的圆形虹膜边界^[5]。后来,Huang 等人^[6]提出了一种基于径向抑制边缘检测的虹膜分割方法,以提高精度。研究中通过使用小波变换来提取虹膜图像的小波变换模量。根据设计的径向非最大抑制方法,保留环形边缘,并移除径向边缘。最后,阈值边缘处理用于去除孤立边缘并生成二值分割图像。

后续的工作注意到虹膜分割上的噪声引起的干扰,并开始研究非理想条件下的虹膜分割。即有学者设计了一种新颖的噪声检测模型以实现准确的虹膜分割。在模型中,通过使用3种条件确定睫毛中的像素,从而解决了反射噪声的干扰^[7]。考虑到由2个圆形边缘检测引起的误差,执行Adaboost眼检测用来做补偿。基于颜色的分割方法用于解决重影效果噪声,并执行眼睑和睫毛检测以减少误差^[8]。为了更准确地拟合虹膜边界,出现了一些使用灵活轮廓线的方法。活动轮廓线可以适应各种形状并同时分割多对象,从而进一步提高分割的准确性和效率^[9]。考虑到噪声的影响,Amjed 等人^[10]提出了一种基于加权自适应霍夫变换的虹膜分割方法。模糊逻辑隶属度函数被用于在明暗区域之间定界并增强对比度,继而使用加权自适应霍夫变换完成虹膜分割。

2 虹膜分割方法

在本节中,将详细描述研究设计的对于非理想虹膜图像的虹膜分割模型。研究详情如下。

2.1 网络设计

非理想虹膜图像中边界和梯度特征的细微差异对虹膜分割方法产生了严峻的考验。仅使用基于梯度和几何关系的图像处理技术很难应对复杂的噪声干扰。但是,卷积神经网络具有强大的特征提取能力,可以学习从大量数据中识别虹膜区域。本次研究使用卷积神经网络作为非理想虹膜图像的分割模型。在虹膜图像分割任务中,研究会利用预测虹膜像素和真实虹膜像素之间的差异构造损失函数。具体地,使用U-Net^[11]的结构作为虹膜分割的骨干

网络。U-Net 在上采样过程中使用级联结构将浅层特征与深层特征相结合。其中,网络使用较深的特征用于定位虹膜区域,而较浅的特征用于精确分割,从而在非理想虹膜图形分割过程中产生更精确分割结果。

2.2 优化目标

分割模型 S 被训练去学习从原始虹膜图像 x 到分割预测 \hat{y} 的映射,就是 $S(x) \rightarrow \hat{y}$ 。研究时的目标是从非理想的虹膜图像中定位虹膜和非虹膜区域。

在分割损失时,研究会使用二进制交叉熵损失项来表示虹膜分割的损失项 L ,对虹膜分割损失的数学定义可表示为:

$$L = -E_{x,y} [y \log S(x) + (1 - y) \log(1 - S(x))] \quad (1)$$

其中, $S(x)$ 表示在给定大小为 $H \times W \times 3$ 的输入虹膜图像 x 的情况下,分割模型生成的2个大小为 $H \times W \times 2$ 的类的类概率图。这里会使用分割损失来鼓励分割模型正确预测虹膜区域的像素位置,并对模型进行训练以最小化损失函数。

2.3 网络结构

本次研究的虹膜分割模型基于U-Net的网络结构,采用了具有 skip connection 的全卷积自编码器的形式。其中,编码器由大小为 3×3 卷积组成(每层仅使用一个卷积),每个卷积层后将续接一个整流线性单元(ReLU)和步幅为2且大小为 2×2 的最大池化操作。解码器是先对特征图进行上采样,再进行 2×2 卷积,从收缩路径与相应裁剪的特征图进行拼接,再经过 3×3 卷积,并通过ReLU激活函数。

3 实验评估

本节重点讨论了实验的实验细节和实验结果。对此拟展开研究论述如下。

3.1 数据集

(1) CASIA v4 Interval。该数据库是 NLPR Lab 提供的 CASIA Iris 图像数据库的子集。其中包含来自249个主题的2639个虹膜图像,图像分辨率为 $320 * 280$ 。该数据集是通过配备圆形近红外光LED阵列并具有适当通光量的相机获得的。由于此数据集中缺少相应的真实分割标签,研究时使用由WaveLab生成的EP数据集,其中包含了CASIA v4虹膜数据集的真实分割标签。

(2) Perturbed CASIA v4 Interval。为了获得非理想的虹膜数据集,文中使用了Shabab研究中提出的增强方法^[12]。这种增强方法通过降低眼窝分辨率,降低图像对比度、阴影图像和图像模糊,来模拟在现实环境中获取的非理想虹膜图像。研究时会在扰动

的数据集上进行训练和测试,以验证该方法在非理想虹膜图像中的性能。

3.2 评价指标

文中选择了多种评估指标来分析所提出的非理想虹膜图像分割方法的性能。对于评估指标的研究,本文给出阐释分述如下。

(1) 错误率:参考 NICE I 竞赛的评估标准来衡量本文提出的分割方法的性能。错误率的定义表示如下:

$$error = \frac{FP + FN}{TP + TN + FP + FN}, \quad (2)$$

其中, TP 、 TN 、 FP 、 FN 分别代表真阳例、真反例、假正例、假反例。

(2) 交并比:通常用于评估目标检测任务中预测的准确性。在这里,使用交并比来衡量分割预测和真实分割标签之间的差异。交并比的定义表示如下:

$$IOU = \frac{TP}{FP + TP + FN}, \quad (3)$$

(3) F_1 分数:这是统计学中用于衡量分类模型准确性的指标。该指标同时考虑了分类模型的准确性和召回率。 F_1 分数的定义表示如下:

$$F_1 score = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \quad (4)$$

3.3 研究实施过程

文中的网络模型在 TensorFlow 中实现,通过使用 Adam 优化算法进行了训练,其动量值为 0.99。继而使用随机正态分布初始化来初始化网络的权重。在实验中,批处理大小设置为 10。前 10 个学习周期的学习率为 0.0001,在接下来的 10 个学习周期中,学习率线性降低为 0。GTX1080Ti GPU 服务器用于训练网络。对于所有数据集,会将数据的 20% 用作测试,60% 用作训练,剩余的 20% 作为验证部分。为了弥补数据的不足,研究通过水平翻转数据集来进行数据扩充。此外,还会将输入图像缩放成 $128 * 96$ 的大小并送入分割网络中,以使不同虹膜数据集的图像大小保持一致。

3.4 对比实验

为了将文中方法的分割结果与其他方法进行比较,研究选择了 2 种最新的虹膜分割方法,包括虹膜识别系统 OSIRIS v4.1^[13] 和虹膜分割框架 IrisSeg^[14]。OSIRIS 是集成了多种图像处理方法的开源虹膜识别框架。在实验中,仅使用其虹膜分割模块,并将其应用于具有非理想虹膜图像的数据集。为了确保 OSIRIS 的性能不受无关因素的影响,在实验前则

将虹膜半径的最大和最小参数设置为适当的值。IrisSeg 是用于非理想虹膜图像的分割框架。在实验中,将直接使用该方法对 2 个不同的数据集进行测试。

在对比实验中,该方法分别在 2 个数据集中进行了训练和测试。在此基础上,将测试集上的分割结果与其它两种方法进行定量比较,并通过将结果与 3 个评估指标进行比较来证明该方法的分割性能。2 个数据集的实验比较结果见表 1、表 2。由表 1、表 2 中可以看出,本文提出的方法对扰动的 CASIA 数据集实现了最佳分割效果,并且该方法的 3 个指标的结果明显高于其他两种方法。尽管在 CASIA 数据集上的分割结果比 IrisSeg 差,但分析后可以发现两者之间的差异仅为 1%。因此,结果表明本文的方法在分割非理想虹膜图像方面具有显著的优势,并且在理想虹膜图像的分割中表现出良好的性能。此外,还计算了每个指标上的分割结果的标准差。从结果的分析对比中可以看出,本文的方法的标准偏差在所有 2 个数据集中都是最低的,这表明本文方法的性能是最稳定的。与其它两种方法不同,本文的方法没有产生很多差的分割结果。

表 1 CASIA 虹膜数据集的定量对比结果

Tab. 1 The quantitative comparison results on CASIA dataset %

Method	Err	IOU	F_1 score
OSIRIS	3.54±0.07	86.91±7.12	92.77±4.80
IrisSeg	0.97±0.01	95.23±4.76	97.48±2.89
The proposed	2.00±0.01	92.97±2.26	96.34±1.27

表 2 Perturbed CASIA 虹膜数据集的定量对比结果

Tab. 2 The quantitative comparison results on Perturbed CASIA dataset %

Method	Err	IOU	F_1 score
OSIRIS	4.43±0.16	85.93±8.99	92.02±6.82
IrisSeg	6.99±0.65	72.40±24.28	77.96±24.35
The proposed	3.05±0.01	89.66±5.32	94.40±3.46

此外,研究还绘制了实验结果的 CDF 图如图 1、图 2 所示。与先前的结论类似,本文的方法在 CASIA 数据集上比 IrisSeg 稍差,但在非理想虹膜数据集上却获得了最佳结果。这也展示了本次研究在处理非理想虹膜图像方面的优势。

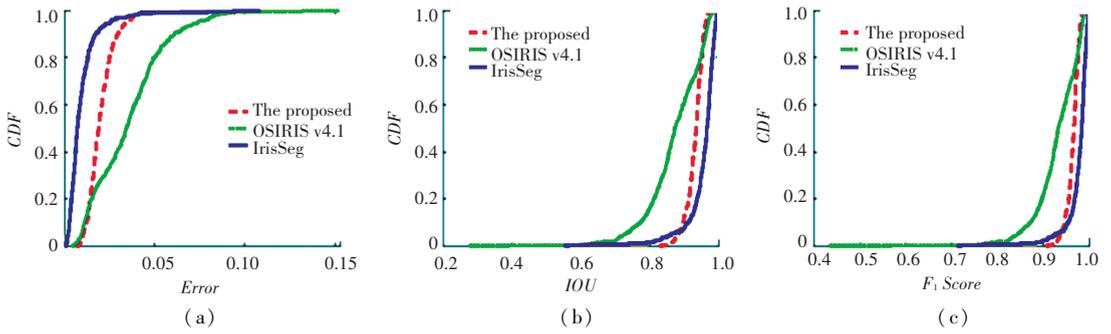


图 1 CASIA 虹膜数据集的 CDF 图

Fig. 1 CDFs of CASIA dataset

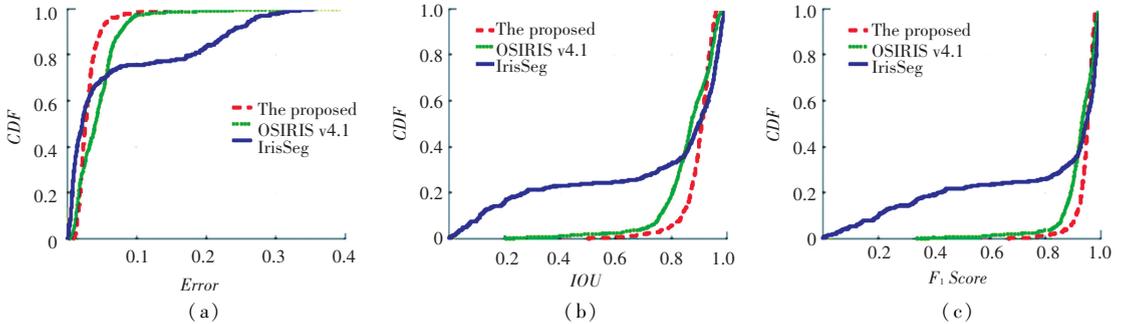


图 2 Perturbed CASIA 虹膜数据集的 CDF 图

Fig. 2 CDFs of Perturbed CASIA dataset

4 结束语

在本文中,研究提出了一种基于深度学习的虹膜分割模型,该模型有助于在物联网设备上部署虹膜识别验证系统。本文所设计的虹膜分割网络可以实现对非理想虹膜图像准确、快速的分割,能够有效地应对虹膜分割过程中环境噪声的干扰。通过在 2 个虹膜数据集上进行的大量实验结果表明,本文的虹膜分割模型可实现顶尖的分割性能,并且提高了虹膜识别系统的可用性,促进了虹膜识别系统在物联网设备上的部署。

参考文献

[1] CHNE Yu, ADJOUADI M, BARRETO A, et al. A computational efficient iris extraction approach in unconstrained environments [C]//2009 IEEE 3rd International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems. Washington, DC, USA:IEEE, 2009:1.

[2] SCHMID N A, ZUO Jinyu. On a methodology for robust segmentation of nonideal iris image[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 2010,40(3):703.

[3] ROY K, BHATTACHARYA P, SUEN C Y. Unideal iris segmentation using region-based active contour model [M]//CAMPILHO A, KAMEL M. Image analysis and recognition. ICIAR 2010. Lecture Notes in Computer Science. Berlin/Heidelberg:Springer, 2010,6112: 256.

[4] WIDES R P. Automated iris recognition: An emerging biometric technology[J]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(9): 1348.

[5] DAUGMAN J. How iris recognition works[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2014,14(1):21.

[6] HUANG J, YOU X, TANG Y Y, et al. A novel iris segmentation

using radial-suppression edge detection [J]. Signal Processing, 2009, 89(12):2630.

[7] KONG W K, ZHANG D. Accurate iris segmentation based on novel reflection and eyelash detection model [C]//Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing. ISIMP 2001 (IEEE Cat. No. 01EX489). Hongkong, China:IEEE, 2001: 263.

[8] JEONG D S, HWANG J W, KANG B J, et al. A new iris segmentation method for non-ideal iris images [J]. Image and vision computing, 2010,28(2): 254.

[9] SHAH S, ROSS A. Iris segmentation using geodesic active contours [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2009,4(4): 824.

[10] AMJED N, KHALID F, RAHMITA R W O K, et al. Non-circular iris segmentation based on weighted adaptive hough transform using smartphone database [J]. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2018, 15(2):739.

[11] RONNEBERGER O, FISCHER P, BROX T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation [M]//NAVAB N, HORNEGGER J, WELLS W, et al. Medical image computing and computer-assisted intervention-MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science. Cham:Springer, 2015, 9351:234.

[12] BAZRAFKAN S, THAVALENGAL S, CORCORAN P. An end to end deep neural network for iris segmentation in unconstrained scenarios [J]. Neural Networks, 2018,106:79.

[13] OTHMAN N, DORIZZI B, GARCIA-SALICETTI S. Osiris: An open source iris recognition software [J]. Pattern Recognition Letters, 2016,82:124.

[14] GANGWAR A, JOSHI A, SINGH A, et al. IrisSeg: A fast and robust iris segmentation framework for non-ideal iris images [C]// 2016 International Conference on Biometrics (ICB). Halmstad, Sweden: IEEE, 2016:1.