

一种基于LVQ神经网络模型的人脸检测方法

王艳, 祁萌

引用本文:

王艳, 祁萌. 一种基于LVQ神经网络模型的人脸检测方法[J]. 液晶与显示, 2021, 36(7): 1027–1034.

WANG Yan, QI Meng. Face detection algorithm based on LVQ neural network model[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(7): 1027–1034.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0295>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

一种肤色定位的人脸检测算法

Face detection algorithm based on skin color location

液晶与显示. 2019, 34(1): 70–73 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193401.0070>

角度空间三元组损失微调的人脸识别

Face recognition of triple loss fine-tuning in angular space

液晶与显示. 2019, 34(1): 110–117 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193401.0110>

基于残差整流增强卷积神经网络的表情识别

Expression recognition based on residual rectifier enhanced convolution neural network

液晶与显示. 2020, 35(12): 1299–1308 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203512.1299>

改进非负矩阵分解的神经网络人脸识别

Face recognition based on improved NMF and neural network

液晶与显示. 2017, 32(3): 213–218 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173203.0213>

基于低秩特征脸与协同表示的人脸识别算法

Face recognition algorithm based on low-rank eigenface and collaborative representation

液晶与显示. 2017, 32(8): 650–655 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173208.0650>

文章编号:1007-2780(2021)07-1027-08

一种基于 LVQ 神经网络模型的人脸检测方法

王 艳, 祁 萌*

(成都工业学院 电子工程学院, 四川 成都 610031)

摘要:人脸检测是人脸识别的首要环节。为快速准确地从复杂背景中定位出人脸区域,本文提出一种基于 LVQ 神经网络的人脸检测算法。通过分析肤色特征,将图像分别转换到 YCbCr 空间和 HSI 空间,提取 Cb 、 Cr 、 H 、 S 颜色分量用来描述人脸图像特征。构建结构为 4-20-2 的 LVQ 神经网络模型,选取 100 幅图像作为 LVQ 神经网络的训练样本,20 幅图像作为测试样本,迭代次数为 150 次,误差为 0.001。经过训练,得到了有效的权值。利用训练后的神经网络,分别在 LFW、AFW 和 Faces 数据集上进行了性能测试,在 3 个数据集的正检率分别为 76.82%, 84.42%, 100%, 误检率分别为 17.34%, 12.34%, 0, 漏检率分别为 21.55%, 15.63%, 0。实验结果表明,相对于传统的基于肤色特征的人脸检测方法,本方法在正检率、误检率及漏检率方面均表现出良好的优越性。

关 键 词:人脸检测;LVQ;肤色特征

中图分类号:TP394.1 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/CJLCD.2020-0295

Face detection algorithm based on LVQ neural network model

WANG Yan, QI Meng*

(School of Electronics Engineering, Chengdu Technological University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Face detection is the first step of face recognition. In order to fix the face region from the complex background rapidly, a method based on LVQ is studied in this paper. By analyzing the color features of skin, images are converted into YCbCr space and HSI space firstly, and then Cb , Cr , H , S color components are extracted to describe the facial image features. An LVQ neural network with a structure of 4-20-2 is constructed, 100 images as training samples and 20 images as test samples are selected for this neural network. The number of iterations is 150 and the error is 0.001. After training, the effective weight are obtained. Using the trained neural network, the performance tests are performed on the LFW, Faces, and AFW datasets. The positive detection rates in the three data sets are 76.82%, 84.42%, 100%, the false detection rates are 17.34%, 12.34%, and 0, and the missed detection rates are 21.55%, 15.63%, and 0, respectively. The experimental results show that the method in our paper shows good superiority in terms of positive detection rate, false detection rate and missed

收稿日期:2020-11-03;修订日期:2020-11-24.

基金项目:国家自然科学基金(No.61705022);四川省科技计划项目(No.2019YJ0377);四川性社会学与性教育研究中心课题(No.SXJYZ2009)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No.61705022); Science and Technology Planning Project of Sichuan Province(No.2019YJ0377); Research Center of Sociology of Gender and Sex Education Project of Sichuan Province(No.SXJYZ2009)

* 通信联系人, E-mail:983629548@qq.com

detection rate compared with the traditional face detection method based on skin color features.

Key words: face detection; LVQ; skin feature

1 引言

人脸检测是指在一幅给定的图像中,采用一定的方法找出所有人脸的位置、大小和姿态^[1-2]。随着电子商务和现代成像技术的快速发展,自动人脸检测技术已经广泛应用到除人脸识别外的其他应用领域,如面部表情分析、性别/年龄识别、图像视频搜索、人机交互系统、3D 显示等应用领域。虽然人类可以非常容易地完成人脸检测、面部表情识别等,但是基于人脸图像分析的自动人脸检测技术却是一项复杂且具挑战性的问题。自上世纪 60 年代人脸识别研究开始以来,人脸检测技术已发展了很长一段时间,但是现有的检测技术仍然面临很多问题,具体原因在于:(1)成像环境复杂;(2)人脸表情、姿态的多变性;(3)人脸遮挡等。

目前,国内外针对人脸检测的研究很多,常见的人脸检测方法有特征分析法^[3-7]、模板匹配法^[8-10]、SVM 模型^[11]、AdaBoost 算法^[12]、深度学习^[13]等。基于知识规则的特征分析法主要包括 3 种:人脸形状轮廓、纹理以及肤色,其中肤色特征是人脸的显著性特征之一,且实际应用中采集图像多为彩色图像,因此基于肤色特征的人脸检测应用更为广泛。

机器学习作为一种特别适合涉及智慧问题的技术,近年来被引入目标检测、图像识别领域。神经网络作为机器学习的一个模型,已经被广泛地使用^[14-19]。近年来,随着人工智能的快速发展,学习矢量量化(Learning Vector Quantization, LVQ)神经网络^[20-23]逐渐受到广大学者的青睐。LVQ 神经网络结构简单,只通过内部单一的相互作用就可以完成十分复杂的分类处理,也很容易将设计域中的各种繁杂分散的设计条件收敛到结论上来。而且它不需要对输入向量进行归一化、正交化处理,简单易行。因此,本文设计出一种肤色特征和 LVQ 神经网络相结合的人脸检测算法。首先分析人脸肤色特征,设定可以定位肤色区域的阈值条件,然后以该约束条件作为收敛条件,构建 LVQ 神经网络模型。然后选取 100 幅

图像作为神经网络的训练样本,20 幅图像作为测试样本。经过训练,得到了有效的权值。利用训练后的神经网络将人脸从背景中分割出来,定位出人脸部分,最后,对分割后的图像进行形态学处理。

2 人脸肤色特征提取

肤色特征是面部的基本特征,不依赖于人的面部表情、姿态等,且具有稳定性,能够区分于大多数背景物体的颜色,因此提取图像的肤色特征作为人脸检测的方法具有简单直观的优点。利用肤色信息进行人脸检测的方法是根据肤色在某个色彩空间的肤色分布来检测人脸的,检测的准确率与颜色空间的选择密切相关。图 1 为肤色在不同颜色空间在的分布轨迹。从图 1 可以看出,颜色空间不同,肤色的分布特性不同。

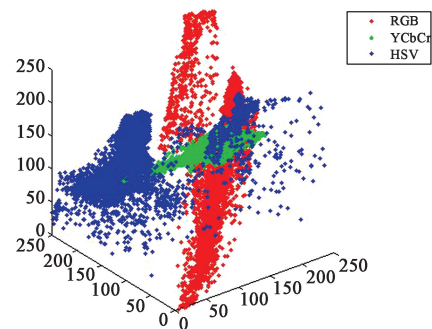


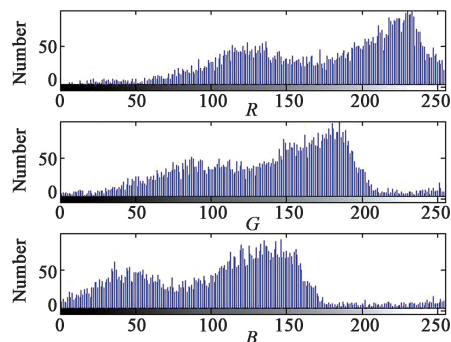
图 1 肤色在不同颜色空间分布图

Fig. 1 Distribution of skin color in different color spaces

在选择色彩空间时,需要考虑肤色在某个色彩空间的聚类特性,且不受光照条件的影响。基于肤色的人脸检测方法是通过确定每个颜色分量的阈值来分割出人脸部分的,所以在选择颜色空间时,需要考虑肤色在该空间的聚类特性。图 2 为肤色在 RGB、YCbCr 以及 HSV 颜色空间中各颜色分量的分布情况。由图 2 可知,RGB 彩色空间中 R、G、B 分量关联性太强且很难将肤色聚类,因而不适合用来作为人脸肤色特征。HSV 颜色空间中,各颜色分类紧凑型不好。YCbCr 空间

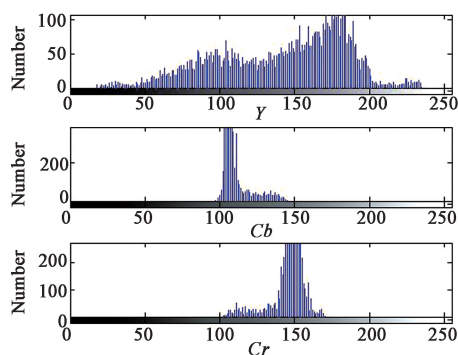
模型的 Cb 、 Cr 分量相互独立,肤色在该空间具有良好的聚类特性,且受亮度变化影响较少,因此本文选择将 Cb 、 Cr 分量作为人脸肤色特征进行人脸检测。

虽然 YCbCr 色彩空间具有良好的聚类特性,但肤色分布区间较大,会受到非肤色区域的干扰,



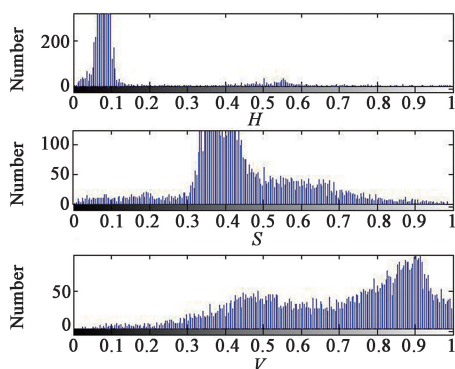
(a) 肤色在 RGB 空间中的分布情况

(a) Distribution of skin in RGB



(b) 肤色在 YCbCr 空间中的分布情况

(b) Distribution of skin in YCbCr



(c) 肤色在 HSV 空间中的分布情况

(b) Distribution of skin in HSV

图2 肤色在 RGB/YCbCr/HSV 空间各颜色分量的分布

Fig.2 Distribution of color components of skin in RGB/YCbCr/HSV space

且该色彩空间并非对所有彩色图像都适合,因而考虑融合多种颜色空间,提取相应的颜色分量作为人脸肤色特征。

HSI 色彩空间模型是从人的视觉系统出发,直接使用颜色三要素色调、饱和度和亮度来描述颜色。亮度是指人眼感觉光的明暗程度。色调和饱和度统称色度,用来表示颜色的类别和深浅程度。由于人眼对亮度的敏感程度远强于对颜色浓淡的敏感程度,HSI 色彩空间更符合人的视觉特性。另外,HSI 空间中亮度和色度具有可分离性,更适合于图像处理和机器视觉中的算法处理。肤色在 HSI 空间中的颜色聚类情况如图 3 所示。

综上分析,选定 Cb 、 Cr 、 H 、 S 作为描述人脸信息的特征,将人脸区域从背景区域分离出来。

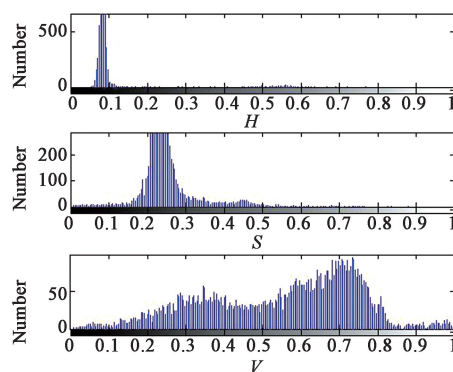


图3 肤色在 HSI 空间的聚类特性

Fig.3 Clustering characteristics of skin in HSI space

3 基于 LVQ 神经网络的人脸检测算法

基于 LVQ 神经网络的人脸检测算法如图 4 所示,具体实现步骤为:

- (1)通过摄像系统采集人脸图像;
- (2)将图像转换到 YCbCr 及 HSI 颜色空间,提取 Cb 、 Cr 、 H 、 S 颜色分量;
- (3)以 $90 \leq Cb \leq 130$, $130 \leq Cr \leq 170$, $0.05 < H < 0.08$, $0.2 < S < 0.3$ 为约束条件,构造训练集/测试集数据;
- (4)创建 LVQ 网络,将训练集数据送到网络对网络进行训练,直到迭代中止;
- (5)网络训练收敛后,对测试集数据进行预

测,即对测试集的数据进行测试;

(6)根据三庭五眼规则最终定位出人脸区域。

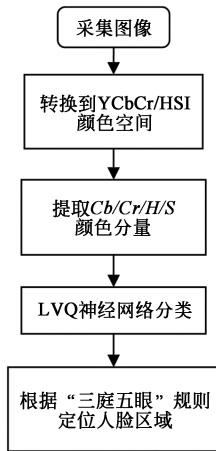


图 4 基于 LVQ 神经网络的人脸检测算法

Fig. 4 Face detection algorithm based on LVQ neural network

3.1 LVQ 神经网络模型

LVQ 神经网络是从 Kohonen 算法演变而来的一种输入前向神经网络,属于有监督学习方法。LVQ 神经网络由输入层、竞争层和输出层 3 层神经元组成。输入层与竞争层采用全连接的方式,竞争层与输出层采用部分连接的方式,竞争层神经元个数总是大于输出层神经元个数,每个竞争层神经元只与一个输出层神经元相连接。通过网络训练,输入层和竞争层之间的权值会发生改变并逐渐聚类。竞争层的神经元通过竞争,胜者的神经元被激活为 1,而其他神经元为 0,与激活神经元相连接的输出层神经元状态也调整为 1,而与未激活神经元相连接的输出神经元状态为 0,从而给当前样本进行分类。

基于肤色信息特征的人脸检测方法是基于图像像素分类的一种检测方法,根据肤色信息在各颜色空间中的聚类特性发现,采用 LVQ 神经网络对像素进行分类是非常适用的。根据前述分析,选用 Cb 、 Cr 、 H 、 S 用来描述人脸特征,作为 LVQ 神经网络的输入,输出则分为 2 类,人脸像素和非人脸像素。

3.2 LVQ 神经网络训练

图 5 为用于人脸检测的 LVQ 神经网络模型。LVQ 神经网络通过自主学习来完成对输入向量的分类,在完成模型构建后,需要对模型进行

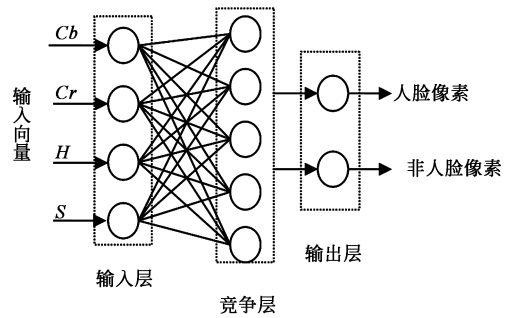


图 5 基于 LVQ 神经网络的人脸检测模型

Fig. 5 Face detection model based on LVQ neural network

不断训练。具体实现步骤如下:

(1)训练集/测试集产生

选取 100 幅图像作为训练图像,20 幅图像作为测试图像,分别构造训练集和测试集。图像大小为 250×250 像素,每张图像按类存储为 1 个 62 500 的行向量,这样训练集有 $100 \times 62\ 500$ 个样本,测试集有 $20 \times 62\ 500$ 个样本。

(2)创建 LVQ 网络

利用 newlvq() 函数创建 LVQ 神经网络,输入向量为 $\mathbf{X}_i = [Cb\ Cr\ H\ S]$, $i = 1, 2, 3, \dots, 400\ 000$;竞争层神经元的个数设为 20,学习速率为 0.01。由于训练集是随机产生的,所以参数 PC 值需要计算,计算方式为人脸像素占整个图像像素的比例。

(3)训练 LVQ 网络

(a)将输入向量 $\mathbf{X} = [Cb\ Cr\ H\ S]^T$ 送到输入层,计算竞争层神经元与输入向量的距离;

(b)与输入向量距离最小的神经元为获胜神经元;

(c)根据分类结果是否准确,调整获胜神经元的权值;

(d)训练次数达到设定值,返回步骤(a)进行新的样本训练,直到训练结束。

4 实验与分析

4.1 实验效果

基于本文提出的算法,搭建实验平台进行性能测试。采用 Intel Core i5, 3 GHz CPU, 3G 内存计算机,配合 Win7、Matlab 作为实验平台。图像数据采用 LFW 人脸数据。LFW 人脸数据集是目前做人脸检测与识别常用的数据集,图像均

来自于真实场景,共有 5 749 人的 13 233 张人脸图像,图像大小为 250×250 。

实验过程为:随机从图像数据集中选取 100 幅图片作为训练样本,20 幅图像作为测试样本。将图像转换到 YCbCr 和 HSI 颜色空间,提取图像的 Cb 、 Cr 、 H 、 S 颜色分量,分别构造 100×4 大小的训练数据集和 20×4 的测试数据集,用作 LVQ 神经网络的输入,输出为 0 和 1,分别表示非人脸像素和人脸像素。LVQ 神经网络模型迭代次数为 150 次,误差为 0.001。

训练完成后得到了有效的权值,利用训练

后的 LVQ 网络对人脸进行检测,实验结果如图 6 所示。图 6(a)为待进行人脸检测的原始图像,经过 LVQ 神经网络模型分类后,可以有效地将肤色区域和非肤色区域区分开,如图 6(b)所示。由于分类方法采用的是基于肤色信息进行分类,经过 LVQ 网络模型分类后的图像仍然存在非人脸区域,因此需要运用辅助方法进行精确人脸定位。观察图 6(b)人脸区域发现,人眼部分非常明显地区分于其他部位,因此可以考虑用三庭五眼法精确定位出人脸区域,得到如图 6(c)的实验效果。



图 6 LVQ 模型人脸检测结果

Fig.6 Results of face detect based on LVQ

4.2 对比实验

为进一步验证本文算法的适用性,选取了 LFW、丹麦艺术大学人脸库(AFW)和加州理工大学人脸库(Faces)数据集进行性能测试,并将本方法与文献[6]和文献[7]分别在上述 3 个数据集上进行了测试,测试结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,本文算法在 LFW、AFW 和 Faces3 个数据集的正检率分别为 76.82%, 84.42%, 100%, 误检率分别为 17.34%, 12.34%, 0,漏检率分别为 21.55%, 15.63%, 0。实验结果表明,本文算法在 Faces 数据集上的正检率最高,误检率和漏检率最低,检测效果均优于 AFW 数据集和 LFW 数据集。这是因为:Faces 数据集中的人脸图像全部为单人人脸图像;AFW 数据集既有单人图像,又有多人图像,且图像背景较为简单;LFW 数据集则是一个无约束的数据集,人脸数多且存在多人重叠、遮挡、受光照环境、人脸朝向及拍摄距离等复杂背景的影响。本文算法在检测人脸时,主要依据的是颜色特征和三庭五眼法将人脸区域识别出来,若被检测图片中存在人脸

遮挡、小尺度人脸的情况,由于利用肤色特征分割出来的人脸区域难以满足三庭五眼的比例,则会导致检测结果与实际情况出现偏差。

与文献[6]和文献[7]中相比,本文算法在三个数据集上的测试效果均表现出了较好的优越性,正检率提高了至少 7%,漏检率降低了 10%以上,误检率降低了近 2 倍。在 Face 测试集上的效果尤其好,正检率达到了 100%,误检率和漏检率为 0。实验结果表明:本文提出的基于 LVQ 神经网络的人脸检测模型具有一定的优越性。

考虑到纹理以及边缘均是作为将人脸区分于背景区域的特征,本文分别提取了纹理特征、边缘特征以及纹理特征、边缘特征相结合,作为 LVQ 神经网络的输入,用于人脸检测的性能测试,实验结果如表 2 所示。从表 2 可以看出,相较于肤色特征而言,利用纹理特征以及边缘特征进行人脸检测在性能上并没有实质意义上的提高。人脸的表情具有复杂多变的特点,同一个人会有不同的表情变化,从而引起面部轮廓特征和纹理特征发生变化,很难用统一

的标准来精确进行人脸分割。而肤色特征不依赖于人的面部表情、姿态等,具有稳定性和良好的聚类性,便于神经网络训练和分类。综上所述,本文所提出的采用肤色作为特征,利用 LVQ 神经网络对人脸进行检测的方法具有良好的鲁棒性。

表 1 性能对比测试结果
Tab.1 Comparison result of performance test (%)

算法	LFW			AFW			Faces		
	正检率	误检率	漏检率	正检率	误检率	漏检率	正检率	误检率	漏检率
本文算法	76.82	17.34	21.55	84.42	12.34	15.63	100	0	0
文献[6]	67.43	32.24	34.56	70.21	27.66	29.79	88.54	22.25	11.46
文献[7]	69.45	24.32	32.15	72.34	17.63	27.66	89.66	11.01	10.34

表 2 多特征对比测试结果
Tab.2 Comparison test result of multi-feature (%)

算法	LFW			AFW			Faces		
	正检率	误检率	漏检率	正检率	误检率	漏检率	正检率	误检率	漏检率
肤色	76.82	17.34	21.55	84.42	12.34	15.63	100	0	0
肤色+纹理	77.02	17.30	21.46	84.39	12.14	15.26	100	0	0
肤色+边缘	76.95	17.32	21.78	84.36	12.35	15.73	100	0	0
肤色+边缘+纹理	77.11	17.24	21.16	84.62	12.26	15.8	100	0	0

5 结 论

人脸检测技术作为人与计算机、机器人等各种交互系统的前置技术,广泛应用于图像搜索、智能监控、公安侦查等各个领域。基于人脸肤色特征的稳定性和可靠性,利用 LVQ 神经网络模型稳定的分类识别能力,本文构造了一种结合肤色特征的 LVQ 神经网络模型用于人脸检测。经

过实验测试表明,本文的方法能够在一定程度上提高人脸检测的性能,与其他算法在相同数据集上进行了对比测试,显示了良好的优越性。但是人脸检测是一项复杂的系统工程,本文算法没有考虑重叠人脸、多尺度人脸以及遮挡人脸等复杂应用场景,因而存在漏检率和误检测率较高的问题。寻找具有特征不变性和尺度不变性的多特征融合的人脸检测方法以提高检测的实时性和准确性是下一步的研究方向。

参 考 文 献:

[1] 张新景,兰育飞,史颖刚.基于肤色特征的人脸检测[J].信息技术与信息化,2019(4):37-39.
ZHANG X J, LAN Y F, SHI Y G. Face detection based on skin color features [J]. *Information Technology and Informatization*, 2019(4): 37-39. (in Chinese)

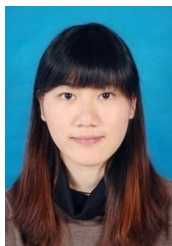
[2] LI H J, SUEN C Y. Robust face recognition based on dynamic rank representation [J]. *Pattern Recognition*, 2016, 60: 13-24.

[3] FEI Z, QIANG Q. Face detection based on rectangular knowledge rule and face structure [C]//*Proceedings of the 2009 1st IEEE International Conference on Information Science and Engineering*. Nanjing, China: IEEE, 2009: 56-64.

- [4] SHI Z Y, LIN M J, GAO Z B, *et al.* Face recognition based on improved LBP algorithm [J]. *Journal of Computers*, 2019, 30(4): 122-129.
- [5] ARAKI Y, SHIMADA N, SHIRAI Y. Face detection and face direction estimation using color and shape features [M]//ARAI E, ARAI T, TAKANO M. *Human Friendly Mechatronics*, Amsterdam: Elsevier, 2001: 229-234.
- [6] PUJOL F A, PUJOL M, JIMENO-MORENILLA A, *et al.* Face detection based on skin color segmentation using fuzzy entropy [J]. *Entropy*, 2017, 19(1): 26.
- [7] 林国军,杨明中,陈明举,等.一种肤色定位的人脸检测算法[J].液晶与显示,2019,34(1):70-73.
LIN G J, YANG M Z, CHEN M J, *et al.* Face detection algorithm based on skin color location [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(1): 70-73. (in Chinese)
- [8] 李明,平凯,年福忠.基于彩色人脸模板的人脸检测算法[J].计算机工程与应用,2014,50(15):153-156.
LI M, PING K, NIAN F Z. Algorithm of human-face detection based on color face template [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2014, 50(15): 153-156. (in Chinese)
- [9] 邵平,杨路明,黄海滨.适于人脸检测的模板匹配快速算法[J].计算机应用,2006,26(7):1607-1610.
SHAO P, YANG L M, HUANG H B. Rapid algorithm of template matching for face detection [J]. *Computer Applications*, 2006, 26(7): 1607-1610. (in Chinese)
- [10] AI H Z, LIANG L H, XU G Y. Face detection based on template matching and support vector machines [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2002, 1(1): 1006-1009.
- [11] SOULA A, TBARKI K, KSANTINI R, *et al.* A novel incremental kernel nonparametric SVM model (iKN-SVM) for data classification: an application to face detection [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2020, 89: 103468.
- [12] 刘燕,贺松,成雨凤.一种改进型 Adaboost 算法的人脸检测[J].智能计算机与应用,2019,9(5):98-101,110.
LIU Y, HE S, CHENG Y F. An improved Adaboost algorithm for face detection [J]. *Intelligent Computer and Applications*, 2019, 9(5): 98-101, 110. (in Chinese)
- [13] LI H X, LIN Z, SHEN X H, *et al.* A convolutional neural network cascade for face detection [C]//*Proceedings of 2015 Computer Vision and Pattern Recognition*. Boston, USA: IEEE, 2015: 1123-1127.
- [14] BISHOP C M. Pattern recognition and machine learning [J]. *Information Science and Statistics*, 2006, 56(23): 198-201.
- [15] YING Y B, WANG J P, JIANG H Y. Inspecting diameter and defect area of fruit with machine vision [J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(5): 216-220.
- [16] 范丽丽,赵宏伟,赵浩宇,等.基于深度卷积神经网络的目标检测研究综述[J].光学精密工程,2020,28(5): 1152-1164.
FAN L L, ZHAO H W, ZHAO H Y, *et al.* Survey of target detection based on deep convolutional neural networks [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2020, 28(5): 1152-1164. (in Chinese)
- [17] 王春哲,安军社,姜秀杰,等.基于卷积神经网络的候选区域优化算法[J].中国光学,2019,12(6):1348-1361.
WANG C Z, AN J S, JIANG X J, *et al.* Region proposal optimization algorithm based on convolutional neural networks [J]. *Chinese Optics*, 2019, 12(6): 1348-1361. (in Chinese)
- [18] 黄乐弘,曹立华,李宁,等.深度学习的空间红外弱小目标状态感知方法[J].中国光学,2020,13(3):527-536.
HUANG L H, CAO L H, LI N, *et al.* A state perception method for infrared dim and small targets with deep learning [J]. *Chinese Optics*, 2020, 13(3): 527-536. (in Chinese)
- [19] HUANG L H, CAO L H, LI N, *et al.* A state perception method for infrared dim and small targets with deep learning [J]. *Chinese Optics*, 2019, 12(6): 1348-1361.
- [20] 张敏灵,陈兆乾,周志华.SOM算法、LVQ算法及其变体综述[J].计算机科学,2002,29(7):97-100.
ZHANG M L, CHEN Z Q, ZHOU Z H. Survey on SOM algorithm, LVQ algorithm and their variants [J]. *Computer Science*, 2002, 29(7): 97-100. (in Chinese)
- [21] DENG L Y. Genetic algorithm LVQ neural network application in remote sensing image classification [J]. *Modern Electronic Technology*, 2020(1): 40-43.
- [22] ZHANG Q, ZHANG X, TIAN Y, *et al.* Study on recognition of wear degree of pick based on LVQ neural net-

- work [J]. *Journal of Sensing Technology*, 2018, 31(11): 105-110.
- [23] 刘文轩, 严凤, 田霖, 等. 基于 LVQ 神经网络的配电网故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 90-95.
- LIU W X, YAN F, TIAN L, *et al.* LVQ neural network approach for fault location of distribution network [J]. *Power System Protection and Control*, 2012, 40(5): 90-95. (in Chinese)

作者简介:



王 艳(1986—),女,重庆万州人,硕士,讲师,2011 年于重庆大学获得硕士学位,主要研究方向为数字图像处理、计算机视觉。E-mail: 1423950761@qq.com



祁 萌(1989—),女,河南平顶山人,硕士,助理研究员,2016 年于四川大学获得硕士学位,主要从事智能算法的研究。E-mail: 983629548@qq.com