

面向超市货架包装的人眼检测技术

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2020.02.012

林月华 孙建明

姚依妮 李 昭

河南科技大学

包装工程系

河南 洛阳 471023

摘 要: 为对超市的消费者进行人眼追踪,分析消费者在货架前的购买行为,提出了基于 K-means 的人眼检测算法。通过分析图像序列中每一帧的静态图像,运用 K-means 聚类算法分割人脸区域,计算脸部尺寸,找出脸部中心点,确定眼睛范围,寻找眼睛坐标,分割眼部图像,并绘制出两只眼睛的垂直投影曲线及水平投影曲线。选取不同人种、不同背景、不同角度、不同姿态下的人物图像进行实验,以验证算法的精确性和有效性。实验结果表明:本文算法能从复杂背景下不同人物图像中准确地分割人脸区域,并精准地定位人眼位置,算法准确性高、适用性好,能够较好地实现超市环境中人眼的快速检测。

关键词: 货架包装; K-means 聚类算法; 人眼检测

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2020)02-0084-07

引文格式: 林月华,孙建明,姚依妮,等.面向超市货架包装的人眼检测技术[J].包装学报,2020,12(2):84-90.

1 研究背景

1.1 人眼检测的意义

眼睛是人类获知事物最主要的感觉器官。对人眼进行检测追踪是近年来的研究热点,已经被广泛应用到工业、医学、心理学、商业广告、交通安全、人机交互等领域,但是面向超市环境的人眼检测技术却鲜少有人研究。

超市是一种自助式购物场所,当消费者在超市里随意浏览时,商品的包装、造型、品牌等都会不同程度的引起消费者的注意;其次,超市采用货架进行商品的摆放,商品在货架上摆放位置的不同也

会影响消费者的购买意愿。将人眼追踪技术应用到超市环境中,通过分析消费者对同一包装在不同货架位置时的眼动数据,能够计算出货架的最佳位置;其次,对消费者在超市货架前浏览时的眼动情况进行定位和追踪,观察分析消费者的视线轨迹图和注视焦点图,可以更加科学合理地改进商品包装,优化货架管理,促进商品销售。

如图1、图2所示即为同一商品包装改进前后的注视热点图。可见,原包装重点不够突出,消费者需要浏览完整体包装才能找到需要的信息,而改进后的包装色彩分明,重点突出,更容易吸引消费者的注意力。

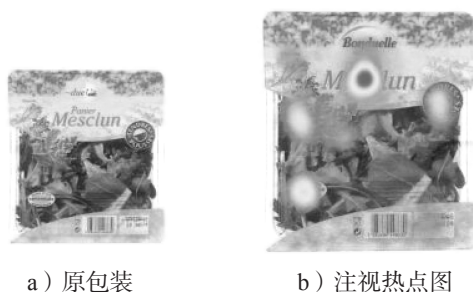
收稿日期: 2019-11-22

基金项目: 陕西省印刷包装工程重点实验室开放课题(2017KFKT-01)

作者简介: 林月华(1995-),女,河南商丘人,河南科技大学硕士生,主要研究方向为机器视觉检测技术,

E-mail: 1976389530@qq.com

通信作者: 孙建明(1978-),男,山东东营人,河南科技大学副教授,博士,硕士生导师,主要从事智能包装,活性包装方面的研究, E-mail: sunjianming@haust.edu.cn

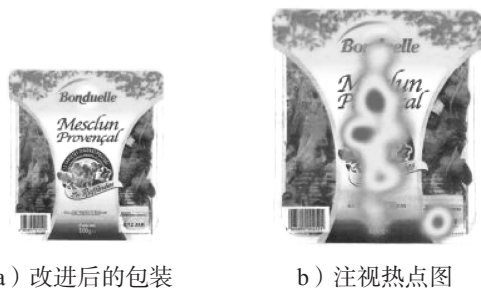


a) 原包装

b) 注视热点图

图1 原有包装及其注视热点图

Fig. 1 Original packaging and its fixation hotspot diagram



a) 改进后的包装

b) 注视热点图

图2 改进后的包装及其注视热点图

Fig. 2 Improved packaging and its fixation hotspot diagram

1.2 人眼检测技术研究

目前, 国内外学者所提的人眼追踪方法均要先对人眼进行检测, 可见人眼检测技术是人脸检测的关键技术之一。兰善伟^[1]在基于瞳孔角膜反射视线追踪技术的研究中, 首先运用 AdaBoost 算法从原图像中检测人眼区域, 再进行虹膜定位、人眼特征提取、注视点计算等后续算法。金瑞铭^[2]在视线追踪技术在网页关注点提取中的应用研究中, 同样使用 AdaBoost 算法将人眼从图像中检测出来。刘俊超等^[3]对输入图像分块, 使用基于深度卷积神经网络的方法提取特征, 获取人眼目标。李燕晓等^[4]根据人脸不同区域的灰度值不同, 采用灰度积分投影和径向对称变换相结合的算法定位人眼。N. L. Fitriyani 等^[5]提出了一种利用 Haar 级联分类器和圆形 Hough 变换的实时眼睛检测系统, 首先检测人脸, 然后使用 Haar 级联分类器检测眼睛。Yu M. X. 等^[6]提出了一种高效的混合眼睛检测方法, 首先使用灰度方差滤波器消除大部分非眼睛区域图像, 然后通过训练后的支持向量机准确地确定两个眼睛区域。M. Ahmed 等^[7]利用虹膜和眼睑局部几何形状不同的特征检测候选眼睛, 然后使用通过融合局部二进制模式、单元平均强度和定向梯度特征直方图训练的支持向量

机进行验证, 以实现人眼检测。C. Tonkin 等^[8]创建了一个虚拟的购物环境, 使用头戴式眼动仪, 记录被测者浏览商品时的眼动运动特征, 以此来评价一个商品包装的适用性, 如图 3 所示。



a) 注视热点图

b) 视线轨迹图

图3 文献 [8] 的实验结果图

Fig. 3 Experimental results of the literature [8]

通过对现有眼动追踪技术的综合分析^[9], 本课题组在前期研究中设计了面向超市环境的眼动追踪系统主题架构^[10]。在此基础上, 为实现超市环境中的人眼检测, 本课题组提出了基于 K-means 的人眼检测算法, 以期为人眼追踪技术提供参考。

2 图像处理算法

图像处理是利用计算机将图像转换成数字信号并进行一系列处理的过程^[11], 是人类获取图像信息的重要手段。其主要包括图像显示、图像变换、数学形态学图形处理、图像分割、颜色空间转换等。在超市中, 设置外置相机对消费者在货架前的眼动数据进行追踪, 易受光照、背景、图像采集设备等因素的影响^[12]。为此需先对图像进行预处理。

2.1 颜色空间的转换

通过图像采集设备所获取的彩色图像通常采用 RGB 颜色空间表示颜色信息^[13]。但是 RGB 颜色空间不能有效地提供颜色信息, 空间中两点的欧式距离与实际颜色距离不是线性关系, 因而颜色分离时容易造成误分离。而 CIE Lab 颜色空间与设备无关, 且各分量之间的联系较小, 属于均匀颜色空间, 色域宽阔, 弥补了 RGB 颜色空间色彩分布不均的不足, 符合人眼视觉特性。为了将 RGB 颜色空间转换为 Lab 颜色空间, 需要先将其转换成 XYZ 颜色空间, 再转换成 Lab 颜色空间, 即: RGB→XYZ→Lab。

2.2 图像二值化

图像二值化是图像处理的基本步骤之一^[14]。选取合适的阈值,将图像中低于阈值的像素值设为0,高于或等于阈值的像素值设为255,使图像呈现黑白效果。图像二值化可为后续图像处理提供便利,简化计算。图像二值化函数为

$$BW = \text{im2bw}(I, \text{level}),$$

式中: I 为待处理图像;

level 为阈值。

2.3 K-means 聚类算法

图像分割是图像识别、分析和理解的基础^[15]。K-means 聚类算法具有适应性强、分割精度高的特点,其中 K 表示类别数,means 表示均值。为了避免图像分割时受传统 K-means 聚类算法中 K 值及初始聚类中心的影响,本文采用改进后的 K-means 聚类算法。该算法原理如下:设定较大 K 值,并选取图像中局部密度较大且相互之间距离较远的数据对象作为初始聚类中心,再对划分后的均值迭代优化以获得最优的聚类结果。

2.4 连通运算

用聚类算法分割出面部图像之后,通过连通运算找二值图像中的非面部连通部分,并对面部图像进行去噪处理。连通运算函数为

$$[L, \text{num}] = \text{bwlabel}(BW, n),$$

式中: num 为 BW 中连通区域数;

n 为 4 连通或 8 连通,默认为 8。

2.5 数学形态学运算

数学形态学是一种基于形状的图像处理理论和方法。其基本思想是用具有一定形态的结构元素进行度量和提取图像中的对应形状,以达到对图像进行分析和识别的目的^[16]。

元素构造采用 strel 函数。通过 imdilate 函数对图像进行膨胀。

$$se = \text{strel}(\text{shape}, \text{parameters});$$

$$BW = \text{imdilate}(I, se).$$

式中: shape 为指定形状对应的结构元素,如 pair 、 arbitrary 、 diamond 、 periodicline 、 disk 、 line 、 square 等;
 parameters 为参数,一般控制 se 的大小。

3 算法原理

3.1 人脸检测算法

为缩小人眼区域检测范围,本文先进行人脸检

测。人脸检测流程如图 4 所示。

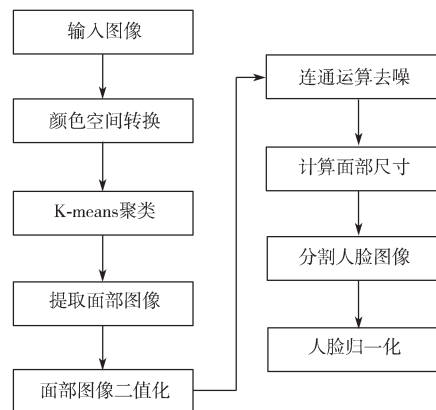


图 4 人脸检测流程图

Fig. 4 Face detection flow chart

1) 首先输入待检测图像,将 RGB 图像转换成 Lab 图像;然后使用 K-means 聚类算法对输入图像的 a、b 分量进行聚类,重复聚类 3 次,以避免局部最小值;最后提取面部图像。

2) 将面部图像二值化,运用连通运算找出二值图像中的非面部连通部分,对面部图像进行去噪处理,接着进行形态学膨胀运算,对二值图像进行孔洞填充,获取二值图像中脸部的轮廓。

3) 将图像左上角设为坐标原点,建立坐标系, x 轴沿水平方向, y 轴沿竖直方向。得出脸部轮廓最左和最右两点在 x 轴上的坐标,以及轮廓最高和最低两点在 y 轴上的坐标,由此可以计算出面部区域的宽度和高度。

4) 判断人脸高度与宽度的倍数关系是否大于经验数据。如果大于经验数据,那么其宽度就是它的最终高度。

5) 最后根据人脸最左点的 x 坐标、最高点的 y 坐标、宽度、高度 4 个值从原图中分割出人脸图像,人脸粗检测即完成。

3.2 人眼检测算法

精确的人眼位置一般由虹膜或瞳孔中心确定^[17]。在人扫视超市货架包装时的图像中,人眼的虹膜易受眼睑遮挡,瞳孔边缘难以分辨,不能完整地呈现圆形,且图像质量较差,这给精确的人眼检测带来了困难。针对上述问题,本课题组通过对瞳孔尺寸的计算得到其中心点坐标,进而检测人眼。

人眼一般处于人脸的中上方。因此,本课题组根据上文得到的人脸区域坐标计算出人脸的中心点坐标,再将该中心点位置以上的人眼区域从人脸图像中

粗略提取出来, 并对其进行处理, 寻找眼睛的精确位置。人眼检测流程如图 5 所示。

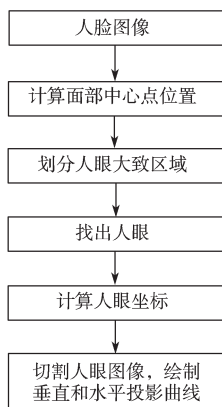


图 5 人眼检测流程图

Fig. 5 Flow chart of eye detection

1) 由人脸最左点的 x 坐标、最高点的 y 坐标、宽度、高度 4 个值计算出面部中心点的坐标和脸部图像面积, 再根据眼部面积与脸部面积的比例关系经验值, 求得眼部面积。

2) 将面部二值图像中人脸中心点以下、额头以上的部分填为黑色, 余下的区域就是人眼的范围区域。然后将去噪后的面部二值图像转换为 RGB 图像, 空洞填充后的二值图像中为白色且 RGB 下为黑色的区域就是人眼所在的区域, 接着运用连通运算去噪, 找出的最大面积区域即为人眼, 显示眼睛的二值图像。

3) 获取二值图像中人眼的轮廓, 分别得出两只眼睛最左侧点、最右侧点在 x 轴上的坐标, 以及最高点、最低点在 y 轴上的坐标, 计算眼睛的宽度和高度, 进而求得眼睛的面积。

4) 将得到的面积值与利用经验值求得的面积相比较, 如果大于利用经验值求得的面积, 根据式 (1) 重新计算两只眼睛最左侧点、最右侧点在 x 轴上的坐标, 以及最高点、最低点在 y 轴上的坐标, 将两只眼睛分别从原图中分割出来, 转换为灰度图像, 并绘制眼睛的垂直投影和水平投影图; 如果小于利用经验值

求得的面积, 根据式 (2) 重新计算两只眼睛最左点、最右点在 x 轴上的坐标, 以及最高点、最低点在 y 轴上的坐标, 将两只眼睛分别从原图中分割出来, 转换为灰度图像, 并绘制眼睛的垂直投影和水平投影图, 以便进行后续的瞳孔检测计算。

$$\begin{cases} y_{\max} = y_{\max} + \text{round}(\delta_{\Delta y}/7), \\ y_{\min} = y_{\min} + \text{round}(\delta_{\Delta y}/3), \\ x_{\max} = x_{\max}, \\ x_{\min} = x_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_{\max} = x_{\max} + \text{round}(\delta_{\Delta x}/2.5), \\ x_{\min} = x_{\min} - \text{round}(\delta_{\Delta x}/2.5), \\ y_{\max} = y_{\max} + \text{round}(\delta_{\Delta y}/3.2), \\ y_{\min} = y_{\min} - \text{round}(\delta_{\Delta y}/3.2) \end{cases} \quad (2)$$

式 (1)~(2) 中: $x_{\max}$ 为眼睛最右点在 x 轴上的坐标;

$x_{\min}$ 为眼睛最左点在 x 轴上的坐标;

$y_{\max}$ 为眼睛最高点在 y 轴上的坐标;

$y_{\min}$ 为眼睛最低点在 y 轴上的坐标;

$\delta_{\Delta x}$ 为眼睛宽度;

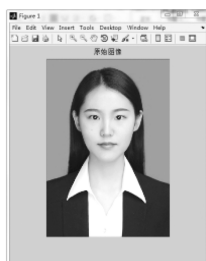
$\delta_{\Delta y}$ 为眼睛高度;

round 为四舍五入函数。

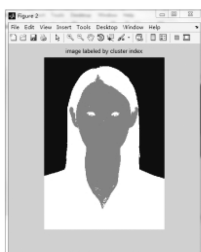
4 实验结果与分析

为了更好地了解人脸检测算法的性能与效果, 随机选择了多张不同肤色、不同背景、不同角度、不同姿态的人物图像进行测试。首先利用本算法对一幅标准图像进行人眼检测, 检测结果如图 6 所示。可见本算法能精确定位标准图像中的人眼。

随后本实验又选取了头部偏转、面部遮挡、肤色暗黄、背景复杂等场景下的图像进行论证, 检测结果如表 1 所示。从表可以看出, 本文算法能够准确地提取人脸区域, 并精准地定位人眼位置, 在准确性及速度方面都有较高的可行性, 实验效果较好。



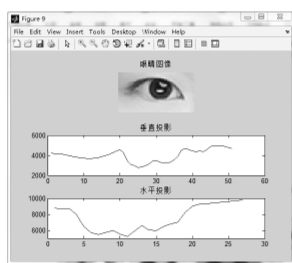
a) 原图



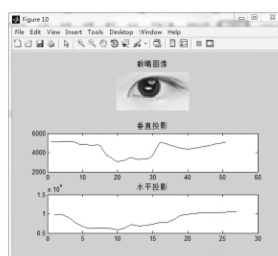
b) 聚类结果图



c) 人脸归一化图



d) 左眼及左眼投影曲线图



e) 右眼及右眼投影曲线图

图6 标准图像的人眼检测流程结果图

Fig. 6 The result charts of eye detection process of standard image

表1 原始图像及人眼检测结果图

Table 1 Original image and human eye detection result map

场 景	原 图	左眼及左眼投影曲线图	右眼及右眼投影曲线图
头部偏转			
面部遮挡			
肤色暗黄			
背景复杂			

5 结语

本文主要对超市环境下消费者浏览商品包装时的人眼检测技术进行研究,介绍了人眼检测过程中的理论知识及算法原理,最后开发了相关程序——人眼检测算法。实验结果表明:本算法能够在多种场景下精确定位人眼。但是由于超市环境复杂多变,目前本算法仅适用于大头照或半身照,对于全身图像中人眼检测还需要进一步研究。在后续研究中,将继续全面深入地研究面向超市货架包装的眼动追踪技术,实现对消费者虹膜的定位和追踪,以完成对商品包装及货架摆放位置的影响力评估,为改善包装设计、优化货架管理提供合理的数据及建议。

参考文献:

- [1] 兰善伟. 基于瞳孔角膜反射视线追踪技术的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
LAN Shanwei. The Research of Eye Gaze Tracking Technology Based on Pupil Corneal Reflection[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
- [2] 金瑞铭. 视线追踪技术在网页关注点提取中的应用研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2016.
JIN Ruiming. Research on Application of Eye Tracking Technology in Extracting Web Page Concerns[D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2016.
- [3] 刘俊超, 陈志军, 樊小朝, 等. 基于深度卷积神经网络的人眼检测[J]. 现代电子技术, 2018, 41(18): 72-75, 79.
LIU Junchao, CHEN Zhijun, FAN Xiaochao, et al. Eye Detection Based on Deep Convolutional Neural Networks[J]. Modern Electronics Technique, 2018, 41(18): 72-75, 79.
- [4] 李燕晓, 秦丽娟. 人脸检测及眼睛定位算法的研究[J]. 电子世界, 2017(14): 92.
LI Yanxiao, QIN Lijuan. Research on Face Detection and Eye Location Algorithm[J]. Electronics World, 2017(14): 92.
- [5] FITRIYANI N L, YANG C K, SYAFRUDIN M. Real-Time Eye State Detection System Using Haar Cascade Classifier and Circular Hough Transform[C]//2016 IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics. Kyoto: IEEE, 2016. DOI: 10.1109/GCCE.2016.7800424.
- [6] YU M X, LIN Y Z, WANG X Z. An Efficient Hybrid Eye Detection Method[J]. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 2016, 24: 1586-1603.
- [7] AHMED M, LASKAR R H. Eye Detection and Localization in a Facial Image Based on Partial Geometric Shape of Iris and Eyelid Under Practical Scenarios[J]. Journal of Electronic Imaging, 2019, 28(3): 1.
- [8] TONKIN C, OUZTS A D, DUCHOWSKI A. Eye Tracking Within the Packaging Design Workflow: Interaction with Physical and Virtual Shelves[C]//Proceedings of the 1st Conference on Novel Gaze-Controlled Applications. [S. l.]: ACM, 2011(3): 1-8.
- [9] 姚依妮, 孙建明, 林月华, 等. 眼动追踪技术应用分析[J]. 轻工科技, 2018, 34(9): 80-82.
YAO Yini, SUN Jianming, LIN Yuehua, et al. Application Analysis of Eye Movement Tracking Technology[J]. Light Industry Science and Technology, 2018, 34(9): 80-82.
- [10] 孙建明, 姚依妮, 林月华, 等. 面向超市环境的眼动追踪系统设计[J]. 包装世界, 2018(5): 10-12.
SUN Jianming, YAO Yini, LIN Yuehua, et al. Design of Eye Movement Tracking System for Supermarket Environment[J]. Packaging World, 2018(5): 10-12.
- [11] 李晶路, 付云宝, 胡松. 基于 MATLAB 的数字图像处理与分析[J]. 无线互联科技, 2014(9): 82-83.
LI Jinglu, FU Yunbao, HU Song. Digital Image Processing and Analysis Based on MATLAB[J]. Wireless Internet Technology, 2014(9): 82-83.
- [12] 李斌. 随机场景人眼检测实时追踪及其应用技术研究[D]. 西安: 中国科学院大学, 2018.
LI Bin. Researches on Real Time Eye Tracking in Random Scenes and Application Technology[D]. Xi'an: University of Chinese Academy of Sciences, 2018.
- [13] 宋凌怡. 基于肤色模型的人脸检测与人眼定位[J]. 吉林大学学报(理学版), 2015, 53(6): 1246-1250.
SONG Lingyi. Face Detection and Eye Localization Based on YCbCr Skin Model[J]. Journal of Jilin University (Science Edition), 2015, 53(6): 1246-1250.
- [14] 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 Xinjing, LAN Yufei, SHI Yinggang. Face Detection Based on Skin Color Features[J]. Information Technology & Informatization, 2019(4): 37-39.
- [15] 雷琼. 基于 Matlab 图像分割的研究[J]. 电子设计工程, 2015, 23(21): 167-169.
LEI Qiong. Image Segmentation Based on Matlab[J]. Electronic Design Engineering, 2015, 23(21): 167-169.
- [16] 黄琴波. 结合特定理论的图像分割方法[J]. 电子科技,

2010, 23(12): 92-95.

HUANG Qinbo. Survey on the Methods of Image Segmentation Research[J]. Electronic Science and Technology, 2010, 23(12): 92-95.

[17] 杨定礼, 张宇林, 周红标, 等. 人眼定位与 AdaBoost Gabor 滤波的人脸检测算法 [J]. 计算机应用研究,

2014, 31(7): 2201-2204.

YANG Dingli, ZHANG Yulin, ZHOU Hongbiao. Application Research of Computers[J]. 2014, 31(7): 2201-2204.

(责任编辑: 邓 彬)

Eye Detection Technology for Supermarket Shelf Packaging

LIN Yuehua, SUN Jianming, YAO Yini, LI Zhao

(Department of Packaging Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan 471023, China)

Abstract: In order to track the eyes of consumers in supermarkets and analyze their purchasing behaviors in front of the shelves, a human eye detection algorithm based on K-means was proposed. By analyzing the static images of each frame in the image sequence, the K-means clustering algorithm was used to segment the face region, calculate the face size, find the face center point, determine the eye range, find the eye coordinates, segment the eye images, and draw the vertical projection curve and horizontal projection curve of the two eyes. Then, the images of different races, different backgrounds, different angles and different postures were selected for experiments to verify the accuracy and effectiveness of the algorithm. The experimental results showed that this algorithm could accurately segment the face region from the images of different people in a complex background, and accurately locate the human eyes. The algorithm had high accuracy and good applicability, and could better realize the rapid detection of human eyes in the supermarket environment.

Keywords: shelf packaging; K-means clustering algorithm; eye detection