

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2018.01.016

基于积分投影与区域生长的人眼定位方法

李德武, 舒小华, 方 盛, 杨顺波

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 为了克服传统积分投影方法不能有效定位偏转人脸图像问题, 提出一种基于积分投影与区域生长相结合的人眼定位方法。在定位人眼之前, 通过肤色分割实现人脸粗定位, 接着采用 Otsu 实现二值化、形态学操作以及区域标记算法等预处理操作。实验结果表明: 采用的处理算法准确度较高, 能为下一步的人眼状态分析打下良好的基础。

关键词: 积分投影; 区域生长; 人眼定位; 肤色分割

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2018)01-0088-05

Eyes Location Based on Integral Projection and Region Growth

LI Dewu, SHU Xiaohua, FANG Sheng, YANG Shunbo

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In order to overcome the flaw commonly found in the traditional integration projection method that fails to detect the eyes in the deflected image, a new method has thus been proposed to locate the eyes based on the algorithms of integration projection and region growth. Before locating the human eye, a coarse location of faces can be achieved through skin color segmentation, followed by the realization of such preprocessing operations as binarization, morphological operation and region-labeling algorithm by adopting Otsu. The experiment shows that the processing algorithm is of high accuracy, thus laying a good foundation for the analysis of human eyes in the next step.

Keywords: integral projection; region growth; eyes location; skin color segmentation

1 研究背景

在驾驶员疲劳状态检测系统中, 实现人眼的精确定位尤为重要。如果采用的方法不能满足实时性与准确性的要求, 那么进行后续人眼状态分析就毫无意义。因此, 设计出一种能实现人眼快速准确定位的方法意义重大。

当前的人脸检测方法普遍采用肤色分割的方法来实现人脸粗定位, 再辅助其他算法实现人脸的精确

定位。在此基础上, 通过进一步的算法处理完成人眼的定位工作, 即基于显示特征的人脸检测算法。也有采用基于隐式特征的检测算法, 例如近些年认可度非常高的 AdaBoost(adaptive boosting, 迭代级联分类器)算法。通过 AdaBoost 算法可训练出级联的人脸分类器, 使用人脸分类器在去除了大量背景的肤色区域中准确定位人脸位置^[1]。

近些年, 国内外学者们对于人脸检测技术方面的研究已经有了长足的进步。郭克友^[2]首先通过基于

收稿日期: 2017-09-25

基金项目: 湖南工业大学教学研究基金资助项目(2015B17)

作者简介: 李德武(1990-), 男, 湖北黄冈人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为图像处理与智能识别,

E-mail: 2418792596@qq.com

肤色分割方法实现人脸检测与定位, 然后通过帧间差分算法与区域标记算法相结合来实现人眼定位。倪晓鹏^[1]通过基于统计的方法, 采用 AdaBoost 与 Haar-like 特征 (也称矩形特征——rectangle feature, 它是将矩形作为人脸检测的特征向量) 相结合的算法来实现人眼的定位。目前, 人眼的快速准确定位技术已经比较成熟, 只是用来实现驾驶员的状态分析的检测系统还需要进一步完善, 从而实现相关产品的运营投产。基于此, 对于人眼的快速准确定位还有比较大的研究空间。

为提高人眼定位检测精度, 本文主要从以下 3 个方面着手:

1) 图像预处理时采用 Otsu (最大类间方差法, 又称大津法) 实现二值化, 然后进行膨胀与腐蚀操作以及区域标记算法处理, 为后续人脸检测创造良好条件;

2) 在传统人脸积分投影方法的基础上, 对人眼区域进行粗定位;

3) 通过积分投影与区域生长相结合的方法实现对人脸精确定位。

2 肤色分割

不同年龄、种族、性别以及肤色的人, 其肤色特征中的色度特征基本相同, 不同的只是在亮度上的差别。基于人体肤色的特点, 近年来大量专家学者的研究发现, 通过识别人脸的肤色特征可以有效地将人脸肤色区域与周围背景区分开来。随着视频图像采集设备的普及, 肤色分割算法已越来越多地运用到人脸图像检测领域^[4]。

在一定光照条件下, 人的肤色分布近似为高斯分布。在诸多颜色空间中, 人的肤色在 YC_bC_r (Y 为亮度分量, C_b 为蓝色分量, C_r 为红色分量) 色彩空间聚类性很强, 非常适合将皮肤区域从背景图像中分割出来^[5]。不同人的皮肤颜色在颜色空间中色度信息 C_b 、 C_r 的分布特性如图 1 所示。

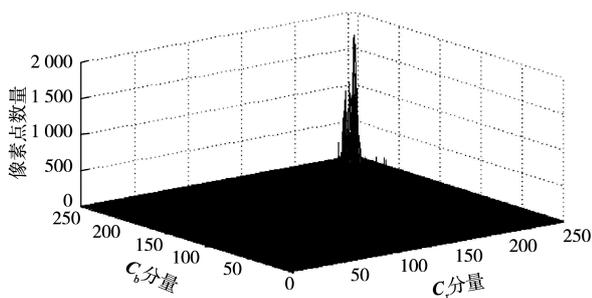


图 1 人脸肤色 C_b 、 C_r 分布图

Fig. 1 C_b , C_r distribution diagram of facial skin colors

在 YC_bC_r 颜色空间中建立 C_b 、 C_r 分量的高斯肤色模型, 利用肤色像素 C_b 、 C_r 分量的聚类性, 可以很好地应用在图像中进行肤色分割, 且受光照影响很小, 该肤色二维高斯分布模型的概率密度函数可以表示为

$$P(C_r, C_b) = \exp\{-0.5(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \mathbf{C}^{-1}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})\}, \quad (1)$$

式中: $\mathbf{x} = (C_b, C_r)^T$;

$\boldsymbol{\mu} = E(\mathbf{x})$ 为样本统计均值;

$\mathbf{C} = E\{(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T\}$, 为样本的统计协方差矩阵^[6]。

图 2b 为图 2a 经过相似度计算^[7]后的肤色分割图像。



a) 原图

b) 肤色分割

图 2 肤色分割相似度计算

Fig. 2 Similarity calculation of skin color segmentation

3 图像预处理

图 3 为采用 Otsu、膨胀与腐蚀操作及区域标记算法等预处理后的结果。



a) 二值化

b) 膨胀



c) 腐蚀



d) 错误定位



e) 去除干扰区域

图3 图像预处理结果

Fig. 3 Image preprocessing results

3.1 Otsu 实现二值化

采用Otsu对经过肤色分割后的图像进行二值化。

Otsu按图像的灰度特性,将图像分成背景和目標两部分,该算法能够较好地將背景与目標分割开。图3a为二值化结果。

3.2 形态学处理

通过观察图3a发现,图像中的非人脸区域也出现了与肤色区域相近的白噪声。另外,由于脸部区域存在眼睛、嘴巴等非肤色区域,导致图像中的人脸区域出现空洞,并且还有断层出现,造成人脸被分割成若干不连通区域,对后续人脸检测与定位造成较大干扰。为了消除此隐患,课题组采用形态学处理中的先膨胀后腐蚀操作。图3b、3c分别为二值化图像膨胀与腐蚀处理后的结果。从图中可以看出,二值化图像中大部分较小的噪声点已经被消除,眼睛嘴巴以及鼻子处的空洞也被进行了有效填补,人脸的边缘区域也变得较平滑。

3.3 区域标记算法

通过观察图3b、3c发现,形态学处理算法并不能去除较大的非肤色连通区域,如果没有去除这些大的非肤色连通区域,定位人脸时就会出现图3d的处理结果。

对于存在多个大小不一连通区域的二值化图像,区域标记算法可以有效地对它们进行区域归类,将非肤色区域设定为无用区域,对这些无用区域进行消除处理,能得到唯一的肤色连通区域。

课题组采用8连通标记算法对各个连通区域进行编号,接着对图像中的各个白色连通区域的白色像素点进行递归统计。人脸区域是白色像素点累计值最大的一个区域,以该白色像素点为参考设定一个阈值,当其它连通区域小于该阈值时,就将该编号的连通区域值设置为0,并将该连通区域变成黑色,从而去除掉该连通区域。通过该算法处理后得到的图像为图3e。

4 人脸定位

经过上述人脸图像预处理后,可以比较容易地进行人脸定位。课题组采用运算速度较快的积分投影方法实现人脸定位。

利用积分投影的方法能够获得灰度图像中各行各列的灰度累积值,然后通过设定合适的阈值范围就能找到人脸的边缘,从而实现人脸定位。假设 $I(x, y)$ 为像素点 (x, y) 处的灰度值,在区间 $[x_1, x_2]$ 和 $[y_1, y_2]$ 内的垂直积分投影函数与水平积分投影函数分别为 $S_V(x)$ 和 $S_H(y)$,则:

$$S_V(x) = \int_{y_1}^{y_2} I(x, y) dy, \quad (2)$$

$$S_H(y) = \int_{x_1}^{x_2} I(x, y) dx. \quad (3)$$

通过积分投影法能够获得人脸的左右边缘以及上边缘,而课题组没有采用从下往上遍历各行白像素点去获得下边缘,是因为人的脖子部分也属于肤色区域,会影响人脸定位效果。

根据先验知识,人脸纵横比 k 的范围为 $0.6 < k < 2$,通过式(4)设定人脸下边缘位置。

$$bottom = [top + (right - left) \times 1.5], \quad (4)$$

式中: $bottom$ 为下边缘序号; top 为上边缘序号; $right$ 为右边缘序号; $left$ 为左边缘序号。

图4所示为人脸定位结果,即通过调用类 $CRect$ 的成员函数 $rect(left, top, right, bottom)$ 获得人脸的外接矩形,从而完成人脸定位工作。



图4 人脸定位结果

Fig. 4 Result of face location

5 人眼定位

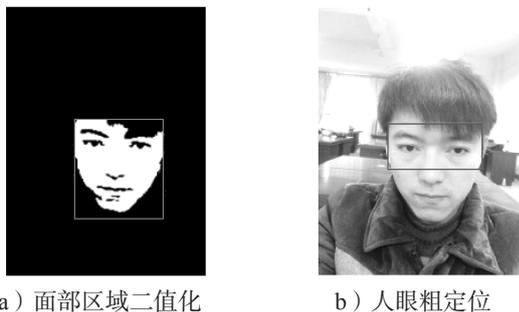
5.1 积分投影

在已经确定的人脸ROI^[8](region of interest, 感兴趣区域)进行二值化处理,而非ROI,则灰度值全部设置为零,处理结果如图5a所示。在该区域内,再次采用积分投影方法定位人眼。

对ROI进行水平积分投影后,经过低通滤波使积分投影曲线变得平滑,较易获得积分投影曲线中的波峰与波谷位置。通过类似上述人脸定位的积分投影算法,可以得到人眼的水平中心坐标。

通过水平积分投影与垂直积分投影后能够获取

左右眼的中心坐标, 以人眼中心坐标为基准, 为左右眼设定最小外接矩形, 从而完成人眼的定位工作。



a) 面部区域二值化 b) 人眼粗定位

图 5 不同检测方法的定位效果图

Fig. 5 Location effect under different detection methods

观察图 5a 会发现, 在人脸 ROI 内, 其左下角与右下角都存在较大面积的黑色像素区域, 这会导致左眼的左侧区域与右眼的右侧区域在进行垂直积分投影时其白色像素累积值与人眼区域非常接近, 从而难以获得人眼垂直中心。另外, 在左右眼的中间区域, 由于鼻子与嘴巴存在部分非肤色区域, 也会导致该区域的垂直白像素累积值与人眼区域接近。为解决上述问题, 课题组采用的方法是在人脸定位时修改下边缘 *bottom* 值, 即

$$bottom = [top + (right - left) \times 0.5]. \quad (5)$$

此时人脸定位图像为图 5b。在该人眼粗定位区域进行垂直积分投影, 就能很好地解决上述问题。

通过该算法最终能实现人眼的精确定位, 但对于人脸图像发生倾斜、偏转的情况则无法将眉眼区域进行有效分割。在基于视频的驾驶员状态检测系统中, 不可避免地会出现人脸图像倾斜、偏转的情况。当待检测人脸图像出现倾斜以及偏转时, 仅仅依靠积分投影算法来寻找眼睛的中心坐标误差较大。因此, 只通过积分投影算法无法满足人眼定位的鲁棒性要求。

5.2 区域生长法

区域生长法将具有相似性质的像素点集合起来构成区域。首先, 对每个需要分割的区域找一个种子像素作为生长起点; 然后将种子像素和周围邻域中与种子像素有相同或相似性质的像素合并到种子像素所在的区域中; 将这些新像素当作新的种子继续上面的过程, 直到没有满足条件的像素可被包括进来。图 6 为区域生长法示例。

图 6a 为待分割矩阵, 设已知 2 个种子像素灰度值分别为 2, 6, 设定判定门限 T (考虑的像素与种子像素灰度差的绝对值小于或等于门限), 从而将待分析的像素归入种子像素所在区域; 图 6b 为 $T=1$ 时原图的区域生长结果, 未能对原图进行有效分割;

图 6c 为 $T=3$ 时原图的区域生长结果, 整幅图被分为 2 个区域; 图 6d 为 $T=7$ 时的区域生长结果, 整幅图被分在一个区域当中。因此, 通过选择合适的门限能对图像进行有效分割。

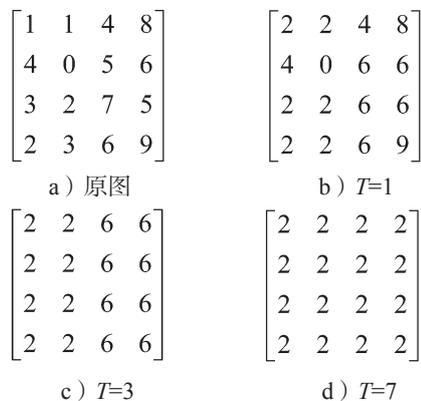


图 6 区域生长法示例

Fig. 6 Illustrations of regional growth method

采用区域生长法的关键因素分别是种子点的选取、判定门限 T 的设定以及终止条件。在图 5b 中人眼粗定位 ROI 内, 首先进行二值化处理, 在二值化 ROI 人眼图像中找出中心点坐标, 以该点为螺旋队列^[9]起始点, 在螺旋队列中按数字递增顺序搜索区域生长起始点, 将灰度值为 0 且其对应 8 邻域灰度值均为 0 的点作为区域生长的种子点。在人眼粗定位 ROI 内, 通过计算其灰度直方图来设定判定门限, 本文选取的判定门限为 $T=180$ 。最后, 进行区域生长, 直至满足终止条件后停止生长。

区域生长法实现的步骤如下:

- 1) 对图像顺序扫描, 找到第 1 个还没有归属的像素, 设该像素为 (x_0, y_0) ;
- 2) 以 (x_0, y_0) 为中心, 考虑 (x_0, y_0) 的 4 邻域像素 (x, y) , 如果 (x_0, y_0) 满足生长准则, 将 (x, y) 与 (x_0, y_0) 合并 (在同一区域内), 同时将 (x, y) 压入堆栈;
- 3) 从堆栈中取出一个像素, 把它当作 (x_0, y_0) , 返回到步骤 2;
- 4) 当堆栈为空时, 返回到步骤 1;
- 5) 重复步骤 1~4, 直到图像中的每个点都有归属时, 生长结束。

6 实验结果分析

为验证上述所用方法的有效性, 课题组采用 ORL (Olivetti research laboratory) 人脸图像数据库中 400 张人脸图像进行人眼定位实验。实验结果表明, 通过积分投影与区域生长相结合算法, 无论是正面人脸图像, 还是倾斜、偏转的人脸图像, 都能在人眼 ROI 内去除噪声点的干扰, 从而实现人眼的精确定位,

部分定位结果如图7所示。

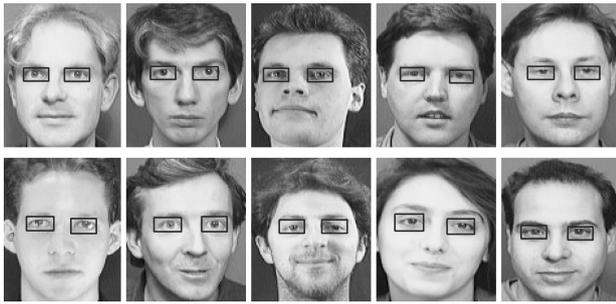


图7 部分实验结果

Fig. 7 Samples of experimental results

课题组提出的算法与文献[10]算法性能比较如表1所示。

表1 算法性能的比较

Table 1 Comparison of algorithm performances

方法	检测数量 / 帧	正确定位 / 帧	定位失败 / 帧	平均耗时 / ms	检测精度 / %
课题组	400	367	33	58.82	91.75
文献[10]	400	373	27	1 923.00	93.25

文献[10]采用的基于灰度投影与改进Hough变换人眼定位方法,准确率为93.25%,与本文采用的算法达到的准确率91.75%相近,但其平均耗时1.923 s,其检测平均耗时较长。课题组的检测算法的平均耗时为58.82 ms,能够基本上满足人眼定位的实时性要求。

7 结语

课题组采用的基于积分投影与区域生长的人眼定位方法,基本上能够满足人眼定位的准确性与实时性要求,但这种检测方法也存在一些问题,比如光照强烈或者光照较差的情况下会导致人眼定位失败。因此,该检测算法还有待进一步改进^[11]。

参考文献:

- [1] 李强. 基于PERCLOS的列车司机驾驶疲劳检测研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
LI Qiang. Research on Train Driver's Fatigue Detection Based on PERCLOS[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.
- [2] 郭克友. 机器视觉技术在安全辅助驾驶中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 32-55.
GUO Keyou. Machine Vision Technology in Safety Driver Assistance Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012: 32-55.
- [3] 倪小鹏. 基于视觉的驾驶员疲劳状态检测方法研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2012.
NI Xiaopeng. Research on the Method of Driver Fatigue State Detection Based on Vision[D]. Shanghai: East China University of Technology, 2012.
- [4] BRUNELLI R, POGGIO T. Face Recognition: Features Versus Templates[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1993, 15(10): 1042-1052.
- [5] 王红, 韩宇星. 人脸区域标定算法及实现[J]. 湖南工业大学学报, 2008, 22(5): 99-101.
WANG Hong, HAN Yuxing. Realization on Face Region Marking and Its Algorithm[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2008, 22(5): 99-101.
- [6] HSU R L, ABDELMOTTALEB M, JAIN A K. Face Detection in Color Images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2002, 24(5): 696-706.
- [7] 冯伟兴. Visual C++ 数字图像模式识别技术详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013: 131-135.
FENG Weixing. Explain Visual C++ Digital Image Pattern Recognition Technology in Detail[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2013: 131-135.
- [8] 李苏梅, 韩国强. 感兴趣区域的确定及相似度计算方法[J]. 湖南工业大学学报, 2008, 22(4): 48-52.
LI Sumei, HAN Guoqiang. Methods on ROI Confirmed and Similarity Computation[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2008, 22(4): 48-52.
- [9] 孙立书, 孙长春. 积分投影与区域生长法结合的人眼定位[J]. 沈阳理工大学学报, 2012, 31(5): 56-60.
SUN Lishu, SUN Changchun. Eye Location Based on Integral Projection and Region Growth[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2012, 31(5): 56-60.
- [10] 李爱平, 魏江, 郝思思. 基于灰度投影与改进Hough变换的人眼定位算法[J]. 电子设计工程, 2014, 22(16): 171-174.
LI Aiping, WEI Jiang, HAO Sisi. Eye Location Based on Gray Projection and Improved Hough Transform Algorithm[J]. Electronic Design Engineering, 2014, 22(16): 171-174.
- [11] 汤雪峰, 周平. 基于卷积神经网络的模糊车牌自动识别[J]. 包装学报, 2017, 9(5): 35-41.
TANG Xuefeng, ZHOU Ping. Automatic Fuzzy License Plate Recognition Based on CNN[J]. Packaging Journal, 2017, 9(5): 35-41.

(责任编辑: 申剑)