

一种热红外人脸分割的新方法

孙统风^{1,2},任子晖¹,陈 伟²,杨小冬²

(1. 中国矿业大学信电学院, 江苏徐州 221116; 2. 中国矿业大学计算机学院, 江苏徐州 221116)

摘 要: 针对热红外人脸的边缘和细节特征模糊、对比度低、人脸和背景温度分布不同等特点,提出一种新的图像分割方法.该方法使用灰度投影粗定位人脸,使用模糊连接度分割背景和确定人眼眉毛的位置,根据眉毛的中心精确定位和归一化人脸.实验结果表明,该方法消除了背景干扰,保留了更多的人脸信息,能够有效解决热红外人脸图像的定位和分割问题.

关键词: 热红外人脸图像; 灰度投影; 模糊连接度; 图像分割

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 2A-023-03

A New Method of Thermal Infrared Face Segmentation

SUN Tong-feng^{1,2}, REN Zi-hui¹, CHEN Wei², YANG Xiao-dong²

(1. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

2. School of Computer Science and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: Thermal infrared faces have the characteristics of edge and detail faintness, low contrast, different temperature distribution between faces and their backgrounds. Focusing on these characteristics, a new image segmentation method is proposed. Gray projection is used to coarsely locate face region. Fuzzy connectedness is used to segment background and determine the positions of eyebrows. According to the centers of eyebrows, faces are located exactly and normalized. The experimental results show that the method eliminates the influence of background, reserves more facial information and can effectively locate and segment thermal infrared face images.

Key words: thermal infrared face image; gray projection; fuzzy connectedness; image segmentation

1 引言

人脸识别的研究已有很长的历史,目前主要是可见光图像人脸识别,图像是由光线的反射形成,容易受光照、化妆等的影响.热红外人脸图像是由被测物体的红外热辐射形成的,受光照强度、化妆等的影响较小,能够克服可见光的不足,因此热红外人脸图像识别受到越来越多的重视^[1~3,5].为了叙述的简洁,本文把热红外人脸图像、热红外图像简称为红外人脸图像、红外图像.

有效分割是识别的前提,红外人脸图像分割可以借鉴可见光图像分割,但是由于红外人脸图像自身的特点,如边缘和细节特征模糊、对比度较低等,许多方法不能直接采用^[3].

文献[2]使用模糊连接度分割红外人脸图像,能够消除背景干扰,但是需要人工选择多个种子像素.文献[3]采用文献[4]提出的可见光图像人脸定位方法,使用广义对称变换及径向对称变换检测眉心,确定人脸区域,进而定位瞳孔.该方法没有考虑充分红外图像的特点,很难实现眉心和瞳孔的准确定位,并且人脸区域如

果选取过大,容易受背景的干扰,如果较小,容易失掉较多的有用信息.文献[5]采用灰度投影和边沿检测的方法分割人脸,算法简单,但是人脸定位不准确.

新方法采用眉毛定位人眼,两次使用灰度投影和模糊连接度,实现图像的粗定位和精确定位.整个分割过程不需要人工干预,充分利用模糊连接度处理模糊边界,消除了背景干扰,同时使用眉毛来准确地定位、归一化人脸,克服人眼(瞳孔)不易定位的问题.

2 灰度投影人脸分割

设红外人脸图像的大小为 $M \times N$, 像素 (i, j) 灰度值为 $g(i, j)$, 垂直灰度投影函数和水平灰度投影函数见式(1)、(2), 反映了图像在水平方向和垂直方向的灰度变化^[6].

$$P_j(i) = \sum_{j=1}^N g(i, j) \quad (1)$$

$$P_i(j) = \sum_{i=1}^M g(i, j) \quad (2)$$

图1为水平灰度投影和垂直灰度投影有关关键点

在人脸图像上的交集示意图. 在垂直灰度投影上, 脸颊与背景的交界处灰度发生剧烈变化, 形成了一个很陡峭的上升沿和一个很陡峭的下降沿, 据此找到脸的左右边界; 在水平灰度投影上, 眼(眉毛)、鼻器官的灰度值较低, 形成两个波谷, 分别对应眼眉和鼻的位置.

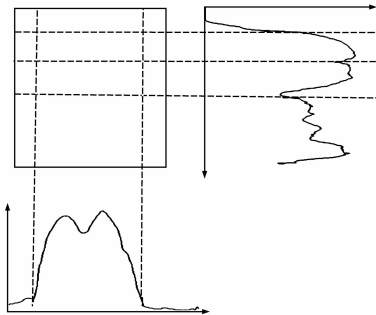


图1 图像的灰度投影

3 模糊连接度图像分割

基于模糊连接度的图像分割就是设定一个种子像素, 计算其它像素与种子像素的模糊连接度, 其中小于预定阈值的像素与种子像素属于同一类, 这样得到一个包含种子像素的区域, 实现了图像的分割. 模糊空间元素的模糊连接度的相关概念详见文献[7], 涉及临近关系、模糊数字空间、隶属度场、相似度、模糊连接度、隶属度等概念, 非本文重点, 这里仅仅介绍模糊连接度和隶属度的概念.

设 (C, f) 是模糊数字空间 (Z^n, α) 上的隶属度场, k 是 (C, f) 模糊空间元素的相似度, $\mu_k(c, d)$ 是一个模糊关系 k 的隶属函数. 在 (C, f) 上从 c 到 d 的路径 ρ_{cd} 就是一个空间元素序列 (c_1, c_2, \dots, c_m) ($m \geq 2$), 其中 $c_i \in C$ ($i = 1, \dots, m$), $c_1 = c, c_m = d$. ρ_{cd} 不只一条, 记 $P_{cd} = \{\rho_{cd}\}$. 在每条路径中, 相邻两个元素相似度中的最小值决定了的连接度. 记作式(3)

$$\mu_x(\rho_{cd}) = \min(\mu_k(c_1, c_2), \mu_k(c_2, c_3), \dots, \mu_k(c_{m-1}, c_m)) \quad (3)$$

c 到 d 的模糊连接度定义为所有从 c 到 d 的路径 ρ_{cd} 中最大的连接度, 其隶属函数见式(4)

$$\mu_k(c, d) = \max_{\rho_{cd} \in P_{cd}} \mu_x(\rho_{cd}) \quad (4)$$

4 基于灰度投影和模糊连接度的红外人脸图像分割及归一化

4.1 红外人脸图像的特点

红外人脸图像反映了人脸的温度分布, 如图2, 具有边缘和细节特征模糊, 目标与背景对比度较低等红外图像的普遍特征. 同时图像具有自身的特点, 其背景、脸部、身体穿衣部位等由于温度分布不同, 灰度值分布也不同: 背景和穿衣部位灰度值不同, 但都不参与

图像人脸的识别, 且相对均质, 因此统一称为背景; 脸部有热的区域, 也有冷的区域, 热的区域包括双眼的周围和前额, 而冷的区域有鼻子和耳朵; 热红外图像人眼特征不明显, 瞳孔很难精确定位, 需要对人眼定位方法(瞳孔)进行改进——根据眉毛定位人脸, 图像中的眉毛反映了眉毛的温度, 低于周围的温度, 灰度值较低. 脸部图像通常是在自然环境中获取的, 含有背景(指周围的事物和被识别人的衣着), 往往不能直接用于图像的识别, 需要人脸的定位和分割.

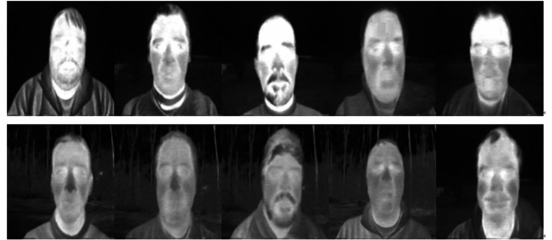


图2 热红外人脸图像(来自Terravic Research Facial IR Database)

4.2 红外人脸图像的分割

图像分割的关键是人脸的准确定位, 首先针对人脸图像的特点, 采用灰度投影确定人脸的大致分布, 并采用模糊连接度, 消除背景干扰, 完成图像的粗定位; 再次使用灰度投影定位人脸和使用模糊连接度确定眉毛的位置, 实现人脸的精确定位, 并且根据眉毛对图像归一化. 假设原图如图3(a), 记为 X_1 , 分割步骤如下:

步骤1 图像预处理: 直方图均衡化, 对图像进行边缘检测和增强, 得到图3(b), 记为 X_2 .

步骤2 灰度投影人脸粗定位: 垂直灰度投影、水平灰度投影, 对得到的投影 $P_j(i)$ 和 $P_i(j)$ 进行平滑处理, 人脸按照长宽比 7:5、眼眉上下比 1:2 确定人脸的左右、上下边界, 得到图3(c).

步骤3 背景分割: 由于图像背景相对均质, 随机选取图3(c)人脸定位区域的左右两侧和底部若干点作为种子像素, 对每个种子实现基于模糊连接度的图像分割 X_f , 将图像分割的结果叠加得到背景 $\sum X_f$, 消除背景得到 $X_3 = X_2 - \sum X_f$. 图像 X_3 可能分为不连续的几个部分, 根据人脸的大致位置, 取其中包含人脸的图像, 得到 X_4 , 如图3(d).

步骤4 人眼眉毛定位: 对图像 X_4 再次使用灰度投影分割, 确定眉毛的大致位置, 然后根据人脸的器官分布确定眉心大致位置, 在眉心位置选取一个种子, 使用模糊连接度分割图像. 由于双眼的周围和前额温度较高, 眉毛温度较低, 分割后会剩下眉毛, 得到眉毛的精确定位. 取眉毛中心作为眉毛的位置, 如图3(e), 该位置也是 X_1 中眉毛的位置.

步骤5 图像标准化: 根据步骤3中 $\sum X_f$ 对应

的背景像素消除 X_1 中的背景得到 X_5 , 将眉毛间距变换到一个统一的尺度, 对图像进行裁减、缩放、旋转处理, 保证双眉中心在同一水平线上. 最后以人脸中轴为基准, 对分割后的图像进行标准化, 如图 3(f).

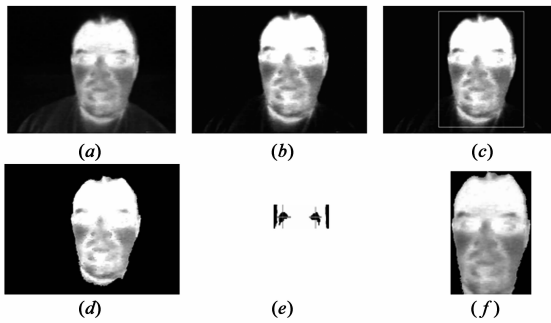


图3 图像分割与标准化

5 实验比较

为了测试图像分割的效果, 采用三种方法分割图像: 采用灰度投影分割(方法一)^[2]、以瞳孔定位采用广义对称变换和径向对称变换分割(方法二)^[3]、以眉毛定位采用灰度投影和模糊连接度分割(方法三, 新方法), 并对分割得到的图像通过 PCA 识别验证比较. 图库采用 Terravic Research Facial IR Database 人脸库^[8]和自拍人脸库, 实验结果如表 1、表 2.

表 1 不同分割方法的分割成功率

方法	Terravic research 人脸库	自拍人脸库
方法一	97%	91%
方法二	83%	72%
方法三	92%	89%

表 2 不同分割方法的人脸 PCA 识别准确率

方法	Terravic research 人脸库	自拍人脸库
没有分割	78%	68%
方法一	80%	70%
方法二	82%	70%
方法三	91%	88%

从实验结果可以看出, 虽然方法三比方法一的分割成功率下降, 但是分割后的图像保留了更多的有用信息, 消除了背景干扰, 具有更高的识别率; 方法三与方法二相比, 分割成功率和识别成功率都得到提高, 主要原因是图像瞳孔特征不明显, 导致分割失败, 同时方法二由于没有消除背景干扰, 只能取人脸的部分区域. Terravic Research Infrared Database 人脸库的识别准确率高于自拍人脸库, 主要是由于自拍图像拍摄环境复杂、拍摄时间间隔过长等原因造成.

6 结束语

本文根据在充分研究热红外人脸图像的特点, 提出了新的图像分割方法, 该方法使用灰度投影粗定位图像的人脸, 模糊连接度处理模糊边界, 以眉毛精确定位

人脸. 不同分割方法的实验结果表明该方法能够准确地定位、分割人脸, 消除背景干扰, 保留更多的信息.

参考文献:

- [1] Riad I Hammoud. Augmented Vision Perception in Infrared (M). London: Springer London, 2009. 197 - 211.
- [2] Pradeep Buddharaju, Ioannis Pavlidis, Ioannis Kakadiaris. Face recognition in the thermal infrared spectrum[A]. 2004 Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2004 IEEE Conference [C]. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004. 133 - 138.
- [3] 李江. 红外图像人脸识别方法研究[D]. 长沙: 国防科技大学. 2005, 6. 14 - 20.
Li Jiang. The research on face recognition approaches of infrared imagery[D]. Changsha: National University of Defense Technology. 2005, 6. 14 - 20. (in Chinese)
- [4] 宋海娜, 匡纲要, 郁文贤. 基于对称变换与高斯微分的人脸定位新方法[J]. 电子学报, 2003, 31(9): 1433 - 1436.
Song Hai-na, Kuang Gang-yao, Yu Wen-xian. A new face localization method based on symmetry transform and gaussian-derivatives[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(9): 1433 - 1436. (in Chinese)
- [5] Moulay Akhloufi, Abdelhakim Bendada. Thermal faceprint: A new thermal face signature extraction for infrared face recognition[A]. 2008 5th Canadian Conference on Computer and Robot Vision [C]. Piscataway, NJ: IEEE Computer Society, 2008. 269 - 172.
- [6] 朱树先, 张仁杰. 人眼定位算法与人脸图像标准化[J]. 上海理工大学学报, 2006, 28(3): 279 - 284.
Zhu Shu-xian, Zhang Ren-jie. Method of human eyes locating and face image standardization[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2006, 28(3): 279 - 284. (in Chinese)
- [7] Udupa JK, Samarasekera S. Fuzzy connectedness and object definition: Theory, algorithms, and applications in image segmentation[J]. Graphical Models and Image Processing, 1996, 58(3): 246 - 261.
- [8] Roland Mieziako. Terravic Research Infrared Database[DB/OL]. <http://www.terravic.com>. 2009-04-08.

作者简介:



孙统风 男, 1977 年 4 月出生于江苏徐州, 中国矿业大学博士研究生, 讲师, 主要研究方向为数字图像处理、模式识别与信息检测.

E-mail: suntf@cumt.edu.cn