

彩色图像中纯脸检测与定位的优化算法研究

李祥^{1,2} 王建国³

(南京理工大学计算机系 南京 210094)¹ (东华理工大学软件学院 南昌 330013)²

(唐山学院网络教育中心 唐山 063000)³

摘要 人脸识别是当前模式识别应用的一个重要领域。在理解当前广泛使用的各种人脸识别算法的基础上,提出了一种基于多方法融合的彩色图像纯脸检测与定位的优化算法。该算法首先通过肤色检测及预处理技术缩小彩色图像人脸检测的搜索区域,然后应用基于物体区域方向的检测平面内任意旋转角度人脸计算方法;并通过二次计算旋转角度的方法来准确确定人脸区域的旋转角度;最后利用积分投影函数找到人脸候选区域中双眼的位置,结合人脸特征在人脸中的比例关系准确确定纯脸的位置。该算法还考虑了人脸侧偏时的情况。实验表明,本方法对平面内任意旋转及双眼存在的侧偏人脸有较好的检测效果,对不同光照条件有较好的鲁棒性。

关键词 人脸检测,模板匹配,积分投影,颜色空间,纯脸

中图法分类号 TP391.4 **文献标识码** A

Optimization Algorithm for Detection and Localization of Pure Face in Color Images

LI Xiang^{1,2} WANG Jian-guo³

(Department of Computer Science, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)¹

(Software College, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China)²

(Network & Education Center, Tangshan College, Tangshan 063000, China)³

Abstract Face recognition has been a complex and difficult problem that is important for surveillance and security, telecommunications, digital libraries, and human-computer intelligent interactions. Based on understanding wide variety algorithms, this paper presented a Multi-way integration optimization algorithm for detection and localization of pure face in color images. First, To an input color image, skin color detection and preprocessing rules was adopted firstly to reduce the face detection searching regions. Secondly a method that can detect arbitrary rotated face within the image plane was proposed based on the computation of the direction of the object. Thirdly, to determine the angle of the rotated face region accurately, a method that compute the rotated angle again was proposed. Finally, the two eyes in the face candidate region was determined by projection function, and then the "pure face" position combining with the proportion of the face features was determined, the side-view face was also considered. The experiments showed that the proposed method provides more better detection results to arbitrary rotated faces within the image plane and side-view faces with two eyes, and more better robust under different illumination.

Keywords Face detection, Template matching, Integral projection, Color space, Pure face

一个完整的自动人脸识别系统由两大部分组成:一是人脸检测,二是人脸识别。其中人脸检测是指对任意给定的一幅图像(静止或运动)判断是否存在人脸;若存在,则进一步指出人脸的位置及大小。由于人脸在图像中的位置、大小和方向未知,因此人脸检测变得非常困难和复杂。而人脸识别指对检测到的目标脸进行识别和分类。因此,人脸检测结果的好坏及效率,直接影响着自动人脸识别系统的性能。

人脸检测的分类方法很多,根据在人脸检测过程中是否使用颜色信息,可分为基于灰度图像和基于彩色图像的人脸检测。其中基于灰度图像的人脸检测^[1],仅利用了灰度的变化,因此检测时要对整幅图像做多角度、多尺度空间的搜索,

计算量大且耗时。而基于彩色图像的人脸检测^[2],则主要利用肤色信息对方向不敏感、运算量较低、执行效率高及肤色能够与大部分背景颜色相区别的特点,因此有效利用肤色信息可以大大减小人脸检测的搜索范围。近年来,由于彩色图像的应用越来越多,基于肤色信息的人脸检测算法吸引了众多研究人员的注意力。

文献[3,4]指出,在基于统计的人脸识别中,所用的人脸应该是纯脸。纯脸是指包含眼眉、眼睛、鼻子和嘴部特征的部分,而不包含头发和耳朵等其它背景区域,如图4中 Height * pureWidth 所包含的区域。

本文的目的是在输入图像中检测并定位纯脸,因此我们

到稿日期:2008-08-08 返修日期:2008-10-21 本文受江西省教育厅科技项目(赣教技术[2007]233号)资助。

李祥(1973-),男,副教授,博士研究生,主要研究方向为图像处理、模式识别等,E-mail:tom_lx@126.com;王建国(1973-),男,副教授,主要研究方向为模式识别、计算机网络等。

提出了一种融合多种技术检测与定位纯脸的方法,即:首先对输入的彩色图像进行肤色分割来找到肤色区域;然后在这些肤色区域上利用一些预处理技术过滤掉部分肤色区域;再次计算人脸区域的旋转角度,利用模板脸匹配的方法定位可能的人脸候选区域;最后在人脸候选区域上利用积分投影的方法确定双眼的位置,并根据双眼的位置及人脸特征的比例关系定位纯脸区域。

实验结果表明,本文提出的算法有较好的纯脸检测与定位效果。

1 人脸候选区域的检测

人脸候选区域的检测是进行纯脸定位的第一步,其主要目的是获得人脸候选区域。基本做法是先对输入的彩色图像进行预处理,然后进行肤色检测,最后对人脸候选区域进行预处理,利用一些限制条件去除一些区域,保留可能的人脸区域,减少人脸检测的搜索空间^[8]。

2 纯脸区域的检测

首先在人脸候选区域上进行模板匹配,确定可能的人脸候选区域;然后对文献[5]中的旋转角度计算方法进行改进,可以检测任意平面旋转的人脸;接下来对旋转后的人脸候选区域进行积分投影,确定双眼的位置;最后根据双眼的位置及人脸特征的比例关系确定纯脸位置。

本文所用到的模板脸^[6]是由手工裁剪的同样大小的25幅人脸区域,经过尺度缩放、直方图均衡化处理得到的平均脸,由男人、女人不同表情的人脸组成。

2.1 人脸候选区域验证

通过计算模板脸和人脸候选区域的交叉相关系数来确定该区域是否为人脸。交叉相关系数通过实验得到,为了避免漏检,其值选得较宽松,为0.5。

由于人脸在图像中的方向未知,为能够检测任意旋转的人脸,需在进行模板匹配前对人脸候选区域进行旋转方向检测。式(1)是区域长轴和X轴的夹角计算公式:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\lambda_{\max} - \mu_{20}}{\mu_{11}} \right) \quad (1)$$

其中, λ_{\max} 和 λ_{\min} 是区域长短轴的长度,计算方法见式(2)。

$$\begin{cases} \lambda_{\max} = \frac{1}{2} (\mu_{20} + \mu_{02} + \sqrt{\mu_{20}^2 + \mu_{02}^2 - 2\mu_{02}\mu_{20} + 4\mu_{11}^2}) \\ \lambda_{\min} = \frac{1}{2} (\mu_{20} + \mu_{02} - \sqrt{\mu_{20}^2 + \mu_{02}^2 - 2\mu_{02}\mu_{20} + 4\mu_{11}^2}) \end{cases} \quad (2)$$

其中, $\mu_{11} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m (x-x_c)(y-y_c) f(x,y)$

$$\mu_{20} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m (x-x_c)^2 f(x,y)$$

$$\mu_{02} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m (y-y_c)^2 f(x,y)$$

人脸区域任意旋转角度计算方法参考文献[8]。

人脸候选区域经过旋转后,采用模板匹配的方法进行检测。然后对模板匹配检测到的人脸候选区域进行水平投影^[7],并对投影直方图进行中值滤波处理,消除噪声影响。水平投影函数为

$$GH(x) = \sum_{y=1}^W G(x,y) \quad (3)$$

滤波函数为

$$GHf(x) = \frac{1}{k+1} \sum_{i=x-k/2}^{x+k/2} GH(i) \quad (4)$$

其中 $G(x,y)$ 为所要处理的灰度图像,大小为 $H * W$; k 根据人脸区域大小确定,区域较小时取2,其它情况取4。

通过观察,如果人脸候选区域包含耳朵区域,则水平投影直方图由中间一个主要的凸峰和两侧的小凸峰构成,且两边的小凸峰值不会超过主要凸峰的1/3,否则就认为该人脸候选区域不包含耳朵区域。因此,只要确定左右小凸峰相邻的左右谷底位置,就可以确定人脸区域的左右边界。为了较准确地确定人脸候选区域的旋转角度,本文根据水平投影直方图去除人脸候选区域的耳朵部分后,用式(1)再次计算人脸候选区域的旋转角度,并和第一次计算的旋转角度相加,得到人脸候选区域的最终旋转角度。图1为得到端正人脸的过程图,其中图1(b)是经过预处理规则处理后的二值图,图1(c)是对包含左耳的图1(b)的旋转图,图1(d)是图1(c)的水平投影直方图。可以看到图1(d)中左侧有一小的凸峰,对应着图1(c)中左耳部分;图1(e)是根据投影直方图去除左耳区域的结果;图1(f)是对去除左耳区域的图1(e)计算旋转角度并进行旋转后的结果图。由图中可以看出,图1(f)中双眼比图1(e)中双眼更接近于水平位置。

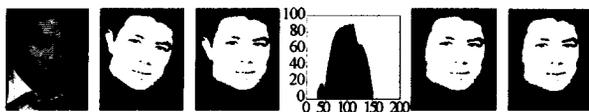


图1 确定端正人脸的过程

2.2 确定双眼位置

双眼位置是定位纯脸的关键。纯脸是指包含眼眉、眼睛、鼻子和嘴部特征的部分,不包含头发和耳朵等其它背景区域,如图2中 $Height * pureWidth$ 所包含的区域。

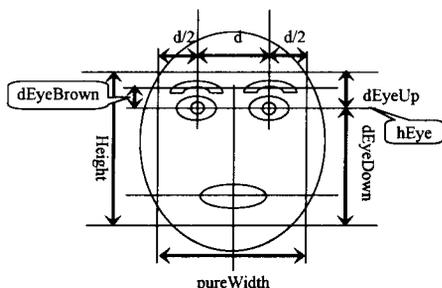


图2 人脸特征比例关系图

双眼位置采用垂直投影和水平投影方法确定。为消除噪声影响,对垂直投影和水平投影直方图采用中值滤波处理。垂直投影函数为

$$GV(y) = \sum_{x=1}^H G(x,y) \quad (5)$$

滤波函数为

$$GVf(y) = \frac{1}{k+1} \sum_{i=y-k/2}^{y+k/2} GV(i) \quad (6)$$

其中 k 根据人脸图像大小确定,较小时取2,其它情况取4。平滑后的垂直投影直方图如图3(b)所示。考虑到人脸图像较小时,眼睛部位像素值很少,肤色检测时容易丢失眼部特征,影响眼睛位置的检测,我们利用二值肤色区域和原灰度图进行掩模操作,对得到的脸部区域的灰度图像部分进行投影运算。掩模图如图3(a)所示。

首先利用垂直投影函数确定双眼的水平位置。垂直投影直方图(图3(b))中最上面的第二个谷底为双眼的水平位置。

然后利用水平投影确定双眼的垂直位置。为准确获得眼睛的垂直位置而不受脸部其它特征(鼻子、嘴巴)的影响,没有对人脸候选区域直接进行水平投影,而是根据双眼的水平位置截取人脸的眉眼区域,如图 3(c)所示。对其直方图均衡化后,再进行水平投影,如图 3(d)所示。通过左右两侧两个谷底点来确定双眼的垂直位置,如图 3(e)所示。

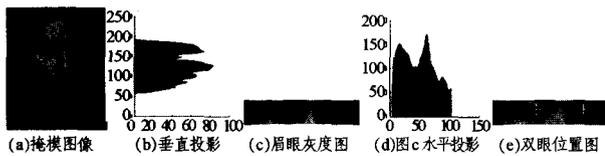


图 3 确定双眼位置过程

2.3 纯脸区域定位

由图 2 可知,两眼中心的距离为 $d=0.5 * pureWidth$,左眼距纯脸左边界距为 $d/2$,右眼距纯脸右边界距离为 $d/2$ 。高度 $Height$ 由 $dEyeUp$ 和 $dEyeDown$ 两部分组成,其中,

$$dEyeUp=1.5 * dEyeBrown \quad (7)$$

$$dEyeDown=((1.5 * dEyeBrown)/(0.5 * d)) * (1.6 * d)=4.8 * dEyeBrown \quad (8)$$

$$\text{所以 } Height=6.3 * dEyeBrown \quad (9)$$

其中 $dEyeBrown$ 是双眼水平位置到双眉中心位置的距离。

这样就可以根据双眼间距离动态地调整纯脸的高度。当人脸较宽或发生侧偏时,眼睛距离边界的距离就不再是 $d/2$,这时要对纯脸距左边界的距离和宽度进行微调。

微调方法如下:

令 $lEye$ 为左眼中心距人脸左边界的距离,则纯脸左边界微调距离为

$$lAdjustWidth=\begin{cases} lEye-d/2, & lEye>d/2 \\ 0, & lEye\leq d/2 \end{cases} \quad (10)$$

令 $rWidth$ 为右眼中心距人脸右边界的距离,则纯脸右边界微调距离为

$$rAdjustWidth=\begin{cases} rWidth-d/2, & rWidth>d/2 \\ 0, & rWidth\leq d/2 \end{cases} \quad (11)$$

此时真正的纯脸距图像左边界的距离和宽度分别为

$$leftWidth=leftWidth+lAdjustWidth \quad (12)$$

$$pureWidth=pureWidth-lAdjustWidth-rAdjustWidth \quad (13)$$

这就实现了对人脸宽度和裁剪位置的微调。图 4 是对图 1(a)进行操作得到的纯脸图。

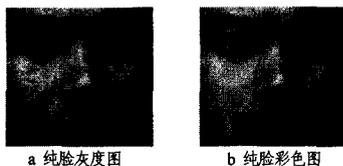


图 4 纯脸图

3 实验及结果分析

实验中用到的图像是从互联网上下载的不同尺寸的图片。简单测试集包括类似证件照的头肩部图像、人物的半身、全身的单人照,背景简单;复杂图像测试集包含单人照和集体照,有类肤色背景存在,光源有变化。两个测试集中的人脸有

侧偏但双眼可见,旋转角度任意。选取图像时,要求人脸区域面积不能太小。

图 5 是在测试集上实验结果的部分实例,其中图 5(d)是模板匹配检测的人脸实例,其余为纯脸检测实例,图中白色矩形框指示了检测到的人脸位置和大小。比较图 5(d)和图 5(e)发现,本文检测到的纯脸更适合进行人脸识别。

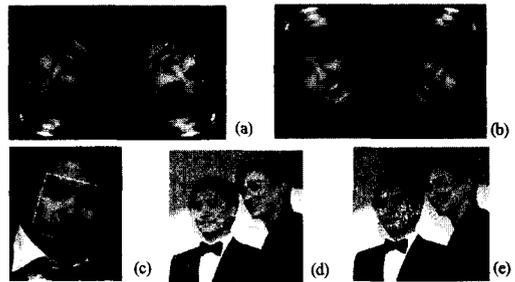


图 5 纯脸检测部分实例

表 1 是实验结果数据。从表 1 中可以看出,简单测试集中模板匹配阶段有两个人脸漏检,这主要是由于人脸肤色区域光照不均,肤色检测效果不好,不能准确确定区域旋转角度,从而漏检;复杂测试集中模板匹配阶段有 4 幅人脸漏检,这主要是由于肤色粘连,不能准确确定区域旋转角度,从而漏检;由于人脸区域太小,在投影时不能确定眼睛特征而无法定位纯脸,造成模板匹配时检测到的人脸中有 2 幅漏检。另外,在模板匹配时有 6 幅误检人脸,在定位纯脸时去除了 4 个非人脸区域。这也说明,采用积分投影函数定位纯脸也有对模板匹配得到的人脸候选区域进行验证的功能。

表 1 实验结果数据

	图像总数	人脸总数	模板匹配正检个数	模板匹配误检个数	纯脸个数	纯脸误检个数
简单测试集	53	53	51	0	51	0
复杂测试集	15	41	37	6	35	2

结束语 本文提出了一种彩色图像中纯脸检测的方法,该方法涉及到了基于肤色模型分割的方法、基于知识、模板匹配和投影函数的方法。首先通过肤色检测和预处理规则在很大程度上缩小了人脸检测时的搜索区域;然后在物体区域方向计算方法的基础上,结合人脸区域的特征对其旋转方向计算进行了改进,提出了能够检测任意旋转角度的人脸的方法;其次通过二次计算旋转的角度方法更准确地确定人脸区域的旋转角度;最后利用垂直投影和水平投影确定人脸区域的双眼位置,结合人脸特征在人脸中的比例关系确定纯脸在图像中的位置,并考虑了人脸侧偏时的情况。实验表明,本方法能够对任意旋转角度的人脸及两眼都存在的侧偏人脸有较好的检测效果。

由于双眼位置的定位对确定纯脸位置非常关键,因此对于人脸区域非常小的图像,眼睛等脸部特征会更小,这样在肤色检测时,会使得人脸区域不能形成空洞,而造成人脸漏检。即使有很小的空洞,由于人脸区域很小,在对人脸区域进行投影时也很难确定双眼的位置而漏检人脸。为了降低漏检率,可以结合具体应用,进行适当调整,以提高检测效果。

参考文献

[1] Yang Ming-Hsuan, Kriegman D J, Ahuja N. Detecting faces in images: A survey[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis

- and Machine Intelligence, 2002, 24(1): 34-58
- [2] Hsu Rein-Lien, Abdel-Mottaleb M, Jain A K. Face detection in color images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24: 696-706
- [3] Chen L F, Liao H Y M, Lin J C. Why a statistics-based face recognition system should base its recognition on the pure face portion; a probabilistic decision-based proof[J]. Pattern Recognition, 2001, 34(7): 1393-1403
- [4] Liao H Y M, Han C C, Yu G J, et al. Face Recognition Using A Face-Only Database; A New Approach[C]// Proceedings of the 3rd Asian Conference on Computer Vision. Hong Kong. Lecture Notes in Computer Science. 1998, 1352: 742-749
- [5] Bayoumi F, Fouad M, Shaheen S. Feature-based human face detection[C]// Proceedings of the Twenty-First National Radio Science Conference. 2004: C21-1-10
- [6] Naseem I, Deriche M. Robust human face detection in complex color images[J]. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2005, 2(II): 338-341
- [7] 艾海舟, 武勃, 等译. 图像处理、分析与机器视觉(第二版)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003
- [8] 王建国, 王江涛, 杨静宇. 基于新颜色空间 YCgCr 的人脸检测与定位[J]. 计算机科学, 2007, 34(9): 221-223

(上接第 269 页)

- [9] Stoica A, Andrei R. Adaptive and Evolvable Hardware-A Multifaceted Analysis[A]// IEEE, Second NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems(AHS 2007)[C]. 2007: 486
- [10] Kaufmann P, Platzner M. Toward Self-adaptive Embedded Systems; Multi-objective Hardware Evolution[A]// International Conference on Architecture of Computing Systems (ARCS 2007), Lecture Notes in Computer Science[C]. Springer, 2007: 199
- [11] Zhu Jixiang, Li Yuanxiang, He Guoliang, et al. An Intrinsic Evolvable Hardware Based on Multiplexer Module Array[A]// 7th International Conference on Evolvable System(ICES 2007), Lecture Notes in Computer Science[C]. Springer, 2007: 35
- [12] Stomeo E, Kalganova T, Lambert C. Generalized Disjunction Decomposition for Evolvable Hardware[J]. IEEE, Transactions on Systems, Man and Cybernetics—Part B: Cybernetic, 2006, 36(5): 1024

致 作 者

随着我国计算机科学技术的不断发展, 科技创新能力的不断提高, 计算机领域相关文献量逐年递增。承蒙广大作者对《计算机科学》的认可和厚爱, 我刊的投稿量也日益剧增, 为了使来稿更方便, 专家审稿更快捷, 同时也为提高编辑部的工作效率和工作质量, 新版的《计算机科学》网站很快就会与您们见面, 届时投稿、审稿、稿件录用、出版详情等都可在网站上直接查询, 极大地提高编辑部为大家服务的水平。我们会尽最大努力使您投稿轻松, 查询便捷, 并尽快让计算机界同行分享您的研究成果。

感谢您们对《计算机科学》的一贯关怀和支持, 请继续关注和支持我们的工作, 让我们共同努力, 为我国计算机科学领域的发展做出更大贡献!

敬请关注新版的《计算机科学》网站 www.jsjcx.com

欢迎投稿, 欢迎订阅!

《计算机科学》编辑部