

复杂背景下视频序列中的人脸定位算法^{*}

蓝章礼 曹建秋 梁爽

(重庆交通大学计算机与信息学院 重庆 400074)

摘要 视频序列中的人脸定位是利用视频图像进行人脸识别的关键技术。为提高视频序列中人脸定位的准确性,通过分析彩色视频序列中的人脸特点,提出一种采用背景去除、肤色区域探测、水平亮度投影和垂直梯度运算、特征点拟合等人脸模板特征的方法,对视频序列中的人脸进行定位。实验结果表明,该方法定位的人脸能够满足实际应用,已利用本方法开发了人脸门禁系统。

关键词 人脸定位,视频序列,背景去除,肤色区域,人脸模板

Face Location Algorithm in Video Sequences with Complex Background

LAN Zhang-li CAO Jian-qiu LIANG Shuang

(School of Computer and Information, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract Face location is a key technique of face recognition using images from video sequences. In order to improve the accuracy of face location in video sequences, the paper presents a method for locating face in video sequences through analysis of face features in video sequence. Background removing, skin region detecting, horizontal brightness projection and face template with gradient calculating, feature component fitting are adopted for this method. The experiments demonstrate that this method can meet the requirements of actual application. In addition, face recognition-based access control system has been developed using this method.

Keywords Face location, Video sequence, Background removing, Skin region, Face template

1 引言

随着模式识别技术的深入开展,以模式识别为基础的智能识别技术近年来得到了快速发展并逐步应用于智能门禁、考勤系统和安全监控中,如指纹识别和虹膜识别在门禁系统中的运用。但由于指纹识别对6岁以下的小孩效果不佳,虹膜识别对人眼有一定的伤害,因此人脸识别的应用范围得到拓展,针对人脸识别进行的研究也更加深入。

人脸的检测与定位作为人脸识别与比对的基础,是人脸识别的重要研究领域^[1,2]。只有正确地检测出人脸的位置,才能更好地进行人脸的识别和比对。目前常用的人脸检测方法有三类:一类是基于整个人脸的灰度模板匹配方法,这种方法运算量大,而且容易受亮度变化影响^[3]。二类是人工神经网络方法,通过大量样本的训练,最后对图像各区域进行判决。该方法在理论上可行,但是训练样本的选择和网络收敛均很困难,实际运用的推广难度大^[4]。第三类方法是肤色检测的方法,这种方法利用了数字图像的彩色信息,大大提高了检测的速度^[5],但由于肤色空间和其他颜色空间的交叉性,已有的方法只能限制在简单的背景下,在复杂背景的图像中误检率非常高。

由于许多企事业单位都已安装完善的视频监控系统,如何利用现有设施,在不增加硬件成本的前提下进行系统功能的升级,完成与人脸识别有关的功能逐渐成为一个研究重点。本文针对视频中人脸的特点,综合利用背景去除、肤色区域探测、水平亮度投影、垂直梯度运算和特征点拟合的方法,快速准确地对视频序列中的人脸进行定位,在实验和应用中取得了满意的效果。

本文就该算法的流程和各环节的方法进行阐述。

2 视频序列中具有复杂背景的人脸检测算法

2.1 算法的总体结构

算法总体结构如图1所示。

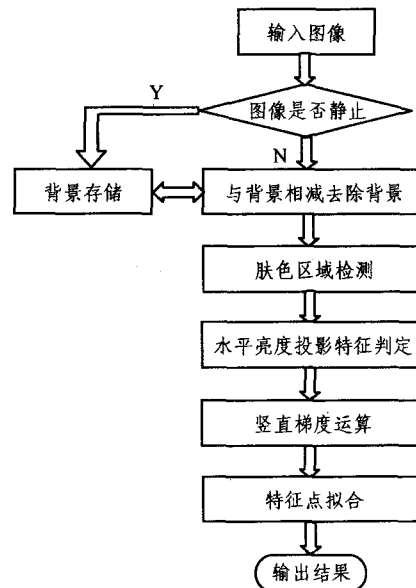


图1 人脸检测算法流程图

首先获取视频中的连续几帧图像,通过这几帧连续图像判断画面是否处于静止状态,若画面静止,可认为图像内无活动物体通过,存储当前图像作为背景。如果画面不静止,则取一幅图像与图像背景进行减操作,去除背景影响,获得活动区域的具体位置。然后在活动区域内寻找肤色范围,找到可能

^{*} 本文受重庆市自然科学基金(CSTC, 2006BB2409, 2007BB2438)和重庆交通大学青年骨干教师基金资助。蓝章礼 副教授,博士,主要研究方向为数字图像处理与模式识别、计算机算法设计与研究。

的人脸区域作为候选人脸。之后在人脸候选区进行水平亮度投影,根据人脸水平亮度投影的特点进一步确认或者排除该候选区域,然后对确认的候选区域进行竖直梯度运算,找到梯度值较大的位置并进行标注,对这些标注点与人脸中眉、眼、鼻、嘴的位置进行拟合对比,如果存在比例恰当的眉、眼、鼻、嘴的梯度点,确认该候选区域为人脸,否则不是人脸。

2.2 背景估计与去除

复杂背景下的人脸定位是人脸检测中难度较大的环节。因为在复杂背景中经常会出现一些颜色与肤色区域相同,特征点与人脸特征相近的对象,这些对象的存在容易造成人脸的误定位,所以去除背景的干扰非常重要。



图2 背景图像



图3 背景中有活动对象的图像

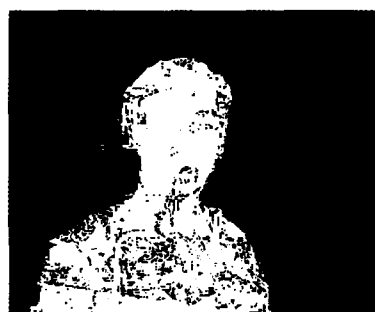


图4 背景去除后的结果

视频系统中摄像机往往处于固定位置,其图像背景在光线不变时会保持稳定,因此,可将稳定的背景作为参照,只有图像发生改变时才认为图像中有活动对象,若只对活动区域中的人脸进行检测和定位,则可以完全去除背景的干扰。

具体步骤为:

1. 获得连续多帧视频图像,判断多帧图像间是否存在差别;
2. 如果不存在差别,则说明当前视频图像中无活动对象,取一帧作为背景图像(每次取一帧静止图像的目的在于一天中光线有所变化,因此背景也应该实时改变);
3. 如果多帧图像间存在差别,则取一帧与背景进行减操

作,由于背景未变化,减操作后,未变化的背景中的各像素亮度接近于0,而活动对象与背景之间存在差异,一般远大于0,因此可对活动对象区域进行标注;

4. 设定一个标注阈值 T ,对相减结果小于该阈值的区域用“0”(黑色)标注,大于该阈值的区域用“1”(白色)标注,即输出的二值图像满足:

$$B(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } |f(x,y,t) - f(x,y,t+\Delta t)| > T \\ 0 & \text{if } |f(x,y,t) - f(x,y,t+\Delta t)| < T \end{cases} \quad (1)$$

运算结果如图2-图4所示。

通过背景去除操作,只对处于活动对象中的图像部分进行后续运算,这样既可排除背景的干扰,又可以降低后续的运算量,效果非常显著。

2.3 肤色区域检测

经过背景去除后,图像中的活动区域已进行了标注,但由于活动区域中存在与背景色彩相同的地方,因此标注后的图像存在椒盐噪声(如图4所示),在进行肤色区域检测前,应对标注后的二值图像进行适当的开(opening)和闭(closing)操作,消去标注图中的椒盐噪声。

经过背景去除后,肤色区域检测的范围被缩小至活动对象所在区域内,可以避免背景色彩的干扰并缩小检测范围,运算量得到明显下降。

在肤色区域检测时,考虑到不同环境下的肤色区别主要受亮度影响,受色度影响较小,为降低亮度对肤色的影响,采用 $YCbCr$ 模型进行色彩的匹配与检测。一般情况下,计算机获得的图像为标准的 RGB 模型,因此采用式2将 RGB 图像转换为 $YCbCr$ 模型。

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_r \\ C_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.257 & 0.504 & 0.098 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (2)$$

由 RGB 转换而来的 $YCbCr$ 颜色空间中的色度中还含有一部分亮度因素。为此,使用色度的非线性转换来改善这一问题^[6]。公式可表示为:

$$C_i(Y) = \begin{cases} (C_i(Y) - \bar{C}_i(Y)) \cdot \frac{W_{C_i}}{W_{C_i}(Y)} + \bar{C}_i(K_h) & \text{if } Y < K_l \text{ or } K_h < Y \\ C_i(Y) & \text{if } Y \in [K_l, K_h] \end{cases} \quad (3)$$

$$W_{C_i}(Y) = \begin{cases} WL_{C_i} + \frac{(Y - Y_{\min}) \cdot (W_{C_i} - WL_{C_i})}{K_l - Y_{\min}} & \text{if } Y < K_l \\ WH_{C_i} + \frac{(Y_{\max} - Y) \cdot (W_{C_i} - WH_{C_i})}{Y_{\max} - K_h} & \text{if } K_h < Y \end{cases} \quad (4)$$

$$\bar{C}_b(Y) = \begin{cases} 108 + \frac{(K_l - Y) \cdot (118 - 108)}{K_l - Y_{\min}} & \text{if } Y < K_l \\ 108 + \frac{(Y - K_h) \cdot (118 - 108)}{Y_{\max} - K_h} & \text{if } K_h < Y \end{cases} \quad (5)$$

$$\bar{C}_r(Y) = \begin{cases} 154 - \frac{(K_l - Y) \cdot (154 - 144)}{K_l - Y_{\min}} & \text{if } Y < K_l \\ 154 + \frac{(Y - K_h) \cdot (154 - 132)}{Y_{\max} - K_h} & \text{if } K_h < Y \end{cases} \quad (6)$$

其中 C_i 指 C_b 或 C_r , $W_{C_b} = 46.97$, $WL_{C_b} = 23$, $WH_{C_b} = 14$, $W_{C_r} = 38.76$, $WL_{C_r} = 20$, $WH_{C_r} = 10$, $K_l = 125$, $K_h = 188$ 。上述参数值是以 HHI 图像子集中的肤色区域作为训练样本得出的, Y_{\min} 和 Y_{\max} 在 $YCbCr$ 颜色空间的取值范围为 16 至 235。

变换后的 $C_b C_r'$ (即 $C_r(Y)$) 在二维空间的投影基本在一个椭圆内。在 $C_b C_r'$ 空间肤色区域的椭圆模型可用式 (7) 和式 (8) 描述^[6];

$$\frac{(x-ec_x)^2}{a^2} + \frac{(y-ec_y)^2}{b^2} = 1 \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_b - c_x \\ C_r - c_y \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中 $c_x=109.38, c_y=152.02, \theta=2.53$ (弧度), $ec_x=1.60, ec_y=2.41, a=25.39, b=14.03$, 均由 $C_b C_r'$ 空间的肤色集运算而得。

在实际应用中,发现用上述椭圆区域算法进行肤色检测时会将部分粉红色非人脸区域包含在肤色椭圆区域中,还有部分较黑的肤色(如逆光和深棕黑色皮肤)落在肤色椭圆区域外,不能被正常检测,为此在探测时分别给予去除和补充。

图 5 和图 6 是根据上述算法找到的肤色区域,其中,对区域长宽比例基本符合人脸长宽比例的区域用白色矩形框标出。

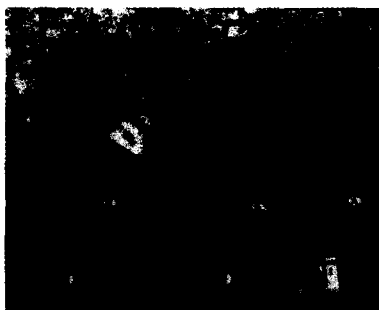


图 5 肤色区域检测结果-1

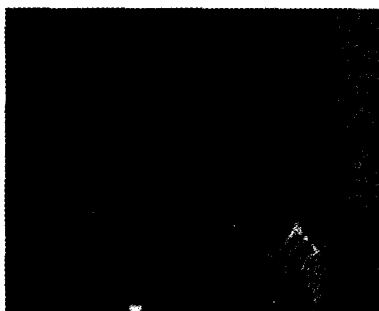


图 6 脸色区域检测结果-2

图 5 和图 6 中有部分色彩区域符合肤色要求,但由于处于背景之中,因此在去除背景后不会被运算和检测。还有一部分皮肤由于其长宽比例不合适,因此也被舍去,只有处于非背景区域、长宽比例合适的肤色区域才作为候选人脸区域,用白框标识。

2.4 水平亮度投影特征

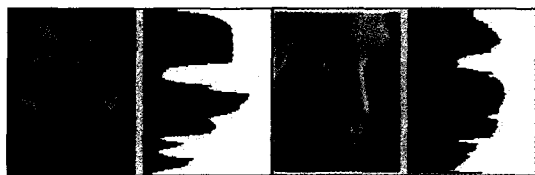


图 7 人脸横向亮度投影

从图 5 和图 6 可以看出,肤色区域的检测范围既包括了人脸,也包括了其它符合肤色色调的区域,如图 5 中的手臂和图 6 中衣服上的肤色图案。比较图 5 和图 6 中的肤色区域可以看出,人脸区域不仅符合肤色的要求,另一个明显的特征是人脸上眉眼附近和嘴附近的亮度比较低,因此人脸的水平亮度投影图的中上部和中下部至少各有一个比较明显的凹陷,如图 7 所示。为此,可对肤色区域进行水平亮度投影,并在其

投影图包络线的中上部和中下部查找有无极值点,且该点的左右侧有一段曲线的微分值大于设定值,从而确定该水平亮度投影是否存在与人脸投影相似的两个凹陷,进一步对候选区域进行确认与排除。

2.5 竖直梯度运算

人脸的另一特征是在适当的位置存在眉毛、眼睛、鼻孔和嘴,而其它肤色区域则不存在这些特征。

要区分肤色区域中的人脸与非人脸,可以用该区域中是否存在眉、眼、鼻、嘴的特征点进行判断。观察上述特征点可知,这特征点所在位置与肤色之间有明显的亮度差异,主要体现在竖直方向的梯度上,因此可将肤色区域进行一次梯度运算。

设图像上各像素位置如下所示:

$$\begin{matrix} f(x,y) & & f(x+1,y) \\ & \bullet & \bullet \\ f(x,y+1) & & f(x+1,y+1) \\ & \bullet & \bullet \end{matrix}$$

考虑眉、眼、鼻、嘴的形状特点,沿竖直方向图像梯度最大,采用竖直梯度算子:

$$G[f(x,y)] = |f(x,y) - f(x,y+1)| \quad (8)$$

将上述梯度大于设定阈值的点标为白色,否则标为黑色,则典型的人脸及人脸梯度如图 8 所示。



图 8 人脸中的梯度

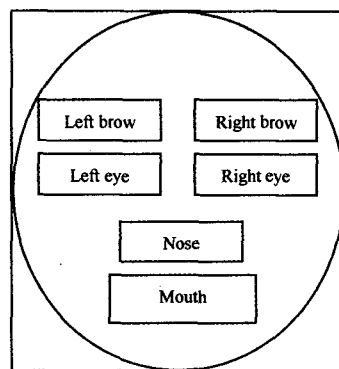


图 9 人脸梯度模板



图 10 人脸确认

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	Kid	通过	没有	Test Constructor			
3	Kid	通过	没有	Test Constructor			
4	PrintKid	通过	没有				
5	JudgeKid	通过	没有			0 name = Jack	age = 45
6	get_Details	通过	没有	Rose, 7 years old			
7	GetType	通过	没有	KidNSP.Kid			
8	ToString	通过	没有	KidNSP.Kid			
9	Equals	通过	没有	FALSE		obj = object obj	
10	GetHashCode	通过	没有	45653674			

图6 无错的测试报告

再将 JudgeKid 中加入以下引起错误的语句:

```
String a=null;
Console. Write(a. Length);
```

使其创建对象过程失败,得到方法调用失败的测试报告

如图7。

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	Kid	通过	没有	Test Constructor			
3	Kid	通过	没有	Test Constructor			
4	PrintKid	通过	没有				
5	JudgeKid	失败	未将对象引用设置到对象的实例。			0 name = Jack	age = 45
6	get_Details	通过	没有	Rose, 7 years old			
7	GetType	通过	没有	KidNSP.Kid			
8	ToString	通过	没有	KidNSP.Kid			
9	Equals	通过	没有	FALSE		obj = object obj	
10	GetHashCode	通过	没有	54267293			

图7 方法调用失败的报告

结束语 为减少生成脚本过程的工作量,基于同步数据驱动测试框架,设计并实现了面向对象程序的测试脚本自动生成工具。生成的脚本直接从底层测试开始应用,重用性良好,可同时测试多个类与方法,无需特定脚本开发语言。对已知测试脚本产生过程中的弱点有很好的改进作用。当然利用.NET 技术还能够将更多的测试活动自动化。本文关注的是对面向对象的程序集自动产生测试脚本的改善方法。今后主要工作是对复杂结构类型的处理和 GUI 交互程序的测试脚本自动产生策略。

参考文献

- [1] Mosley D J, Posey B A. 软件测试自动化[M]. 邓波,黄丽娟,曹青春,等译. 北京:机械工业出版社,2003
- [2] Fewster M, Graham D. 软件测试自动化技术与实例详解[M]. 舒智勇,包晓露,焦跃,等译. 北京:电子工业出版社,1999
- [3] Schmidt M, Robinson S. Microsoft Visual C#. NET 2003 Developer's Cookbook [M]. Sams publishing, 2004
- [4] Juristo N, Moreno A M, Strigel W. Software Testing Practices in Industry [J]. IEEE Software, July 2006; 19-21
- [5] Kangling L, Mengqi W. Effective Software Test Automation [M]. Alameda, CA: Sybex, 2004
- [6] MSDN Library for Visual Studio [EB/OL], 2007
- [7] Perry W E. Effective methods for software testing [M]. New York :Jonn Wiley & Sons, 2000

(上接第 257 页)

根据人脸梯度特点,设定适当的梯度阈值后,在眉、眼、鼻、嘴所在的部位应存在较大梯度(白色),而脸颊和额头部位梯度很小。由此可建立一个简单的人脸梯度模板,如图9所示。在实际应用时,应允许人脸五官的位置在一定范围内存在偏差,以用于检测人脸有转动和倾斜的情况。



图11 视频中检测出的人脸

结合水平亮度投影,根据梯度模板中各五官的分布特点,即可在人脸候选区域中确认人脸。采用水平亮度投影和特征点的梯度模板对图5进行了运算,其结果如图10所示。视频中检测出的人脸如图11所示。

结束语 本文对复杂背景下视频序列中的人脸定位方法进行了研究与描述,利用视频序列中人脸的特点,提出了对应于视频序列中的人脸定位算法。通过实验验证,该方法用奔IV 2.8G的计算机利用C#编程,对复杂背景下以正常速度基本保持正面通过视频摄像区域的人脸进行定位,单张脸检测耗时约60ms,能够顺利检测出通过摄像区的人脸,误检率小于5%,完全能够满足人脸门禁系统的要求。目前,我们已利用本文研究的成果开发了数字智能多功能门禁与报警系统。

参考文献

- [1] Yang M H. Recent advances in face detection [A]// Proc. of the IEEE ICPR 2004 Tutorial [C]. United Kingdom (Cambridge): IEEE, 2004
- [2] Yang M-H, 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
- [3] Leung T K, Burl M C, Perona P. Finding faces in cluttered scenes using random labeled graphic matching [C]// Fifth International Conference on Computer Vision, Cambridge . M. A. June 1995
- [4] Feraud R, Bernier O J, Viallet J E, et al. A fast and accurate face detection based on neural network [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(1): 42-53
- [5] Hsu R-L, Abdel-Mottaleb M, Jain A K. Face detection in color images [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24: 696-706
- [6] Hsu R L. Abdel-Mottaleb M, Jain A K. Face detection in color image. http://www.image2003.com