

基于组件距离匹配度函数检测部分遮挡的人脸方法^①

郭 犛^{②*} 顾国昌^{*} 蔡则苏^{**} 刘海波^{*} 沈 晶^{*}

(^{*} 哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

(^{**} 哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘 要 为了较好地解决被部分遮挡的人脸的检测问题,提出一种基于组件距离匹配度函数的人脸检测方法。该算法首先采用基于支持向量机的 Adaboost 算法即 AdaboostSVM 算法对输入图像进行人脸各组件的检测,然后根据组件间距离的均值和方差构建组件距离匹配度函数,并提出基于组件距离匹配度函数的组件整合验证算法,在此基础上对被遮挡的组件的位置进行估计,进而实现部分遮挡的人脸的检测与定位。实验结果表明,该方法能够提高部分遮挡的人脸的检测性能与速度,能够在复杂背景下对被部分遮挡的人脸进行较为准确的定位与检测。

关键词 人脸检测, 基于组件, 部分遮挡, AdaBoostSVM, 组件距离匹配度

0 引 言

人脸检测是当前的研究热点之一,经过几十年的发展,已经取得了一定的研究成果^[1-3]。现有检测算法处理的多是面部无遮挡的人脸,如文献[4-7],而在图像及视频监控中经常出现的是一些部分遮挡的人脸,这些遮挡物主要有眼镜、面具、胡须、饰物等,因而部分遮挡的人脸的检测则成为视频监控以及安防系统中必须解决的一个问题。由于部分遮挡的人脸不能提供人脸检测所需的遮挡部分的有用信息,因而相对于面部无遮挡的人脸检测,部分遮挡的人脸的检测具有更大的难度^[8,9]。

近年来,一些学者对部分遮挡的人脸的检测进行了相关研究与探索,并取得了一定的进展。Heisele 等提出了基于组件的人脸检测方法^[10,11],该方法包括两层支持向量机(support vector machine, SVM)结构,第一层通过训练 SVM 分别检测出各个组件,第二层通过 SVM 和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)对各个组件之间的几何关系进行判别,确定是否与人脸符合。该方法取得了比传统的全局人脸检测方法更好的检测效果。文献[12]提出了一种部分遮挡的人脸检测算法,该方

法综合利用了人脸的组件信息(如眼睛、鼻子、嘴巴)和全局信息,采用 Adaboost 算法(一种快速的人脸检测算法)进行低分辨率的全局人脸检测和各个组件的检测,最后通过 LDA 和决策树对各个分类器的结果进行整合,进而判别是否为人脸。文献[13, 14]给出了基于组件与组件之间的拓扑关系的人脸检测算法,它在每个组件检测中使用 Adaboost 算法,在整合各个组件的输出结果时采用了基于图匹配技术的拓扑验证方法,在一定程度上解决了部分遮挡的人脸的检测问题。上述研究虽然取得了一定的成果,但是对于被部分遮挡的人脸,检测性能仍然不是很高,且算法计算量大、速度慢,还存在着一定的改善空间。为此,本文给出一种新的基于组件的部分遮挡的人脸的检测算法,在检测出人脸的各组件后,基于组件间的距离匹配度函数进行组件的整合验证,最终定位出整个人脸。该方法可以进一步提高部分遮挡的人脸的检测性能与速度。

1 算法的总体描述

基于组件距离匹配度函数的部分遮挡的人脸的检测算法的结构关系如图 1 所示。其总体过程描述为:首先采用基于 SVM 的 Adaboost 算法——Ada-

① 863 计划(2006AA04Z259),中央高校基本科研业务费专项资金(HEUCF100606, HEUCF100604, HEUCFZ1010)和国家教育部博士点专项基金(20092304120013)资助项目。

② 女,1980 年生,博士生;研究方向:人脸检测,图像处理与计算机视觉;联系人,E-mail: guosong@hrbeu.edu.cn (收稿日期:2010-10-26)

boostSVM 算法对输入图像中人脸的各个主要组件(左眼、右眼、鼻子、嘴)进行检测;然后基于组件之间的距离匹配度函数对检测出来的各个组件进行整合验证,以对属于同一张人脸的各组件进行分组与确认;最后根据组件的位置关系对遮挡组件进行估计,并对整个人脸进行定位与检测。

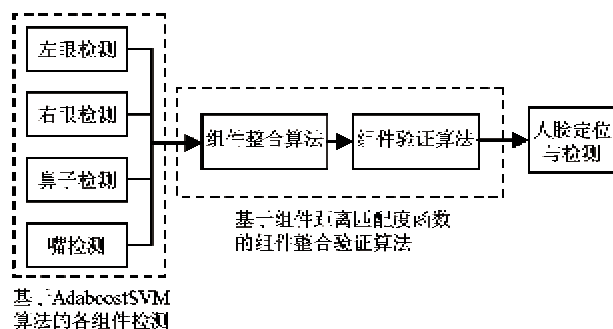


图1 本文算法的结构关系图

2 人脸各组件的检测

人脸各组件的检测是基于组件的人脸检测方法中非常关键的一步,组件的检测效果直接影响着整个算法的检测性能。本文采用基于 Haar-like 特征的 AdaboostSVM 算法为每个组件构建一个分类器,对输入图像中人脸的各个组件(左眼、右眼、鼻子和嘴巴)进行检测,每个分类器都是基于同一种算法策略,区别只是对不同类型的组件采用不同的训练样本。AdaboostSVM 算法与其他方法相比,在检测速度和性能上都有一定的优势。

2.1 Haar-like 特征

Haar-like 特征如图2所示,其定义为黑色矩形和白色矩形在图像子窗口中对应区域的灰度级总和之差,它反映了图像局部的灰度变化。



图2 Haar-like 特征

Viola 等给出了一幅图像的积分图像的定义及求解方法,通过图像的积分图像可以非常方便、快速地计算出该图像的 Haar-like 特征^[15]。

2.2 基于 AdaboostSVM 算法的组件检测

AdaboostSVM 算法使用 SVM 作为 Adaboost 的弱分类器,能够较好地解决 Adaboost 算法产生的过

学习问题,在一定程度上提高了算法的泛化能力^[16]。AdaboostSVM 算法具体描述如下:

(1) 输入:训练样本集 $\{(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)\}$; 初始的 σ_{ini} ; 最终的 σ_{min} ; 以及步长 σ_{step} 。

(2) 初始化样本权重: $w_i^1 = 1/N$, for all $i = 1, \dots, N$ 。

(3) Do While ($\sigma > \sigma_{min}$)

①使用 RBFSVM 算法训练弱分类器 h_t 。

②计算弱分类器 h_t 错误率:

$$\varepsilon_t = \sum_{i=1}^N w_i^t, y_i \neq h_t(x_i)。$$

③如果 $\varepsilon_t > 0.5$, $\sigma = \sigma - \sigma_{step}$, 转到①。

④计算弱分类器 h_t 的评价系数: $\alpha_t = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_t}\right)。$

⑤更新训练样本权重 $w_i^{t+1} = \frac{w_i^t \exp\{-\alpha_t y_i h_t(x_i)\}}{C_t}$, 这里 C_t 是一个标准化常量, 并且有 $\sum_{i=1}^N w_i^{t+1} = 1。$

(4) 输出: $f(x) = \text{sign}\left(\sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x)\right)。$

采用 AdaboostSVM 算法可以快速、较为准确地检测出人脸的各组件,对基于组件的部分遮挡的人脸检测起到了非常重要的作用。

3 组件整合验证与人脸检测

检测出来人脸的各个组件之后,需要进行各个组件的整合验证,进而实现人脸的检测与定位。在这部分中,首先给出组件的距离匹配度函数及相关概念的定义,然后提出基于组件距离匹配度函数的方法进行人脸各组件的整合与验证算法,并在此基础上对整个人脸进行定位与检测。

3.1 组件的距离匹配度函数及相关概念定义

文献[14]中给出了标准人脸模型,如图3所示。本文给出的组件距离匹配度函数是建立在标准人脸模型的基础上,其具体定义如下:

$$\rho(i_k, j_l) = \exp\left(-\frac{|d(i_k, j_l) - M(i, j)|}{\sigma(i, j)}\right) \quad (1)$$

这里, i, j 表示组件的类型(左眼、右眼、鼻子、嘴); k, l 表示各类型组件中不同组件的内部标识。 $M(i, j), \sigma(i, j)$ 表示标准人脸中两个不同组件 i, j 之间

的平均距离和方差; $d(i_k, j_l)$ 表示检测出来的不同组件 i_k, j_l 之间的实际距离。 $\rho(i_k, j_l)$ 是组件 i_k, j_l 之间的距离与标准人脸组件 i, j 之间平均距离的匹配程度,体现了组件 i_k, j_l 属于同一张人脸对应组件的可能性大小。

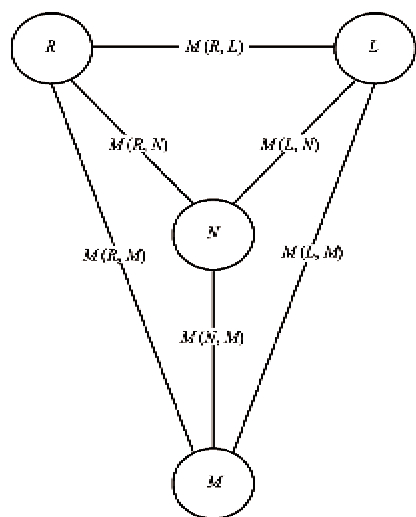


图3 标准人脸模型

基于组件与组件之间的拓扑关系的人脸检测算法,采用了基于图匹配技术进行组件的整合与验证,在一定程度上解决了部分遮挡的人脸的检测问题^[14]。然而该方法的检测性能仍然不是很高,并且由于大量的图匹配验证的复杂运算,算法的速度也存在一定的限制。为此,本文提出了基于组件距离匹配度函数的人脸各组件的整合与验证算法,以进一步提高部分遮挡的人脸的检测性能和速度。为了准确描述提出的基于组件距离匹配度函数的组件整合与验证算法,给出了关联组件、主节点组件两个概念的定义:

(1) 关联组件的定义:当 $\rho(i_k, j_l) > T(i, j)$ 时,则认为组件 i_k, j_l 属于同一张人脸,此时,称 i_k, j_l 为互相关联的组件。这里, $T(i, j)$ 为不同类型的组件 i, j 之间的距离匹配度阈值。

(2) 主节点组件的定义:在若干个组件中,拥有关联组件个数最多的一个或多个组件,称为这若干个组件中的主节点组件。

3.2 组件整合分组算法

组件整合分组的目的是将可能属于同一张人脸的组件划分为一组,以便进行组件的验证与人脸的定位。该算法基于距离匹配度函数,通过计算各组件的关联组件个数来找到当前主节点组件,并将各

组件以主节点组件为中心进行分组划分。组件整合分组算法具体描述如下:

(1) 计算每个组件的关联组件个数。对每个组件 i_k , 逐个检验与 i_k 类型不同的 j_l (即 $j \neq i$), 当 i_k, j_l 为互相关联的组件时,则将组件 i_k 的关联组件个数 N_{i_k} 加 1, 并将 j_l 添加到 i_k 的关联组件列表中。

(2) 在未被分组的组件中,找到组件的关联组件个数 N_{i_k} 的最大值 $N_{\max}$ 。

(3) 当 $N_{\max} < 1$ 时,算法结束。

(4) 当 $N_{\max} \geq 1$ 时,将关联组件个数为 $N_{\max}$ 的组件(满足条件的组件可能有多个,任选其中一个,并将其作为当前的主节点组件)及其关联组件划分为一组,这样就得到了以当前主节点组件为中心的一个关联组件组。

(5) 如果在当前关联组件组内不存在组件与未被分组的组件相关联,转到步骤(2)。

(6) 如果在当前关联组件组内存在组件与未被分组的组件相关联,则去除它们的关联关系,并将该组件及与其相关联的未被分组的组件的关联个数都减 1, 转到步骤(5)。

该方法通过计算比较组件的关联组件的个数,来找到每次迭代过程中当前未被分组的组件中的主节点组件,并以当前的主节点组件为中心,将其和与其相关联的组件划分为一个关联组,进而实现关联组件的准确划分,使得将可能同属于一张人脸的组件划分为一组。该方法只是一次性地计算组件的关联组件个数,在每次迭代时,只需简单地比较组件的关联组件个数,计算简单,避免了大量的复杂运算,因此,算法的检测速度可以得到一定程度的提高。同时,每次迭代过程中,都要对每个组件进行关联组件个数的比较,所以算法可以实现对组件进行较为准确的整合分组。

3.3 组件验证算法

对组件进行整合分组后,还需要对同一关联组内的组件进行进一步的验证,以判别其是否属于同一张人脸,同时将不满足属于同一人脸的组件去除掉。组内组件的验证算法描述如下:

(1) 当关联组内组件的个数等于 2 时,认为这一关联组内的两个组件属于同一人脸,算法结束。

(2) 当关联组内组件个数多于 2 时,对各组件进行两两比较验证,如果各组件两两之间均相互关联,即对任意的 i, j, k, l 都满足 $\rho(i_k, j_l) > T(i, j)$, 则该关联组内的各组件都属于同一人脸,算法结束。

(3) 若关联组内组件存在非两两均相互关联的

情况,则找到关联组件个数最小的组件。

(4) 若步骤(3)找到的组件个数唯一,则删除这一组件。转至步骤(1)。

(5) 若步骤(3)找到的组件个数不唯一,则删除这些组件中与主节点组件距离匹配度函数值最小的那个组件;转至步骤(1)。

该方法基于组件距离匹配度函数对关联组内的组件进行两两对比,以验证本关联组内的任何两个组件之间都是相互关联的组件,同时将不满足条件的组件予以剔除,以保证每个关联组内的组件都属于同一张人脸。由于该算法对每个关联组内的组件逐次迭代进行两两对比,所以对组件是否属于同一张人脸的验证较为准确。

3.4 人脸定位与检测

为了实现对整个人脸进行准确的定位与检测,需要知道人脸每个组件的位置信息,然而在部分遮挡的人脸图像中,由于遮挡,使得部分组件不能被检测出来,这就需要对这些遮挡的组件进行估计。这里采用文献[14]中的方法,根据标准人脸组件间的距离和已知的两个组件的位置信息对遮挡组件进行估计。设已知的两个组件的位置坐标为 $X1 = (x11, x12)$, $X2 = (x21, x22)$ 。根据标准人脸模型各组件之间的距离和余弦定理求出旋转夹角 θ , 公式如下:

$$\cos\theta = \frac{M^2(1,2) + M^2(1,3) - M^2(2,3)}{2M(1,2)M(1,3)} \quad (2)$$

通过公式

$$X3 = \frac{M(1,3)}{M(1,2)}A(X1 - X2) + X1 \quad (3)$$

即可求出遮挡组件的位置坐标 $X3$ 。这里, $A =$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}。$$

根据上述方法估计出所有遮挡组件的位置信息后,便可以实现对人脸位置的定位与检测。人脸的中心位置坐标 (x, y) 、宽度 W 和高度 H 定位如下:

$$x = \text{nose}X \quad (4)$$

$$y = \text{nose}Y \quad (5)$$

$$W = 2 \cdot (\text{rightEye}X - \text{leftEye}X) \quad (6)$$

$$H = 2 \cdot \left(\frac{\text{rightEye}Y + \text{leftEye}Y}{2} - \text{mouse}Y \right) \quad (7)$$

这里, $(\text{leftEye}X, \text{leftEye}Y)$, $(\text{rightEye}X, \text{rightEye}Y)$, $(\text{nose}X, \text{nose}Y)$ 和 $(\text{mouse}X, \text{mouse}Y)$ 分别为检测或者估计出来的各组件(左眼、右眼、鼻子和嘴)的中心位置坐标。

4 实验结果与分析

为了检验提出的部分遮挡的人脸的检测算法的性能与速度,实验中选用 1000 幅人脸测试图像,共包括不被遮挡的人脸 816 个和不同程度被遮挡情况下的人脸 1347 个。这些测试图像部分来自互联网上的图像,部分来自 CMU + MIT 人脸库中的图像,部分是通过 CMU + MIT 人脸库中的图像进行遮挡处理而得到的。运用这 1000 幅测试图像分别对全局人脸检测算法、文献[14]的算法以及本文提出的算法进行人脸检测测试,以检验它们各自的检测性能与速度。图 4 是采用全局人脸检测算法、文献[14]的算法以及本文提出的算法进行人脸检测的 ROC 曲线。图 5 为 CMU + MIT 人脸库中的一幅被进行遮挡处理的图像,采用本文方法对其进行人脸检测的过程与结果如图 6 至图 8 所示。图 6 是进行人脸各组件的检测结果;图 7 是对组件进行整合验证并对遮挡组件进行估计的结果;图 8 是最终的人脸检测结果。表 1 给出了全局人脸检测算法、文献[14]的算法以及本文提出的算法对每幅图像进行人脸检测所用的平均时间(实验环境:处理器 P4 3.0GHz,内存 1G,Matlab7.0)。

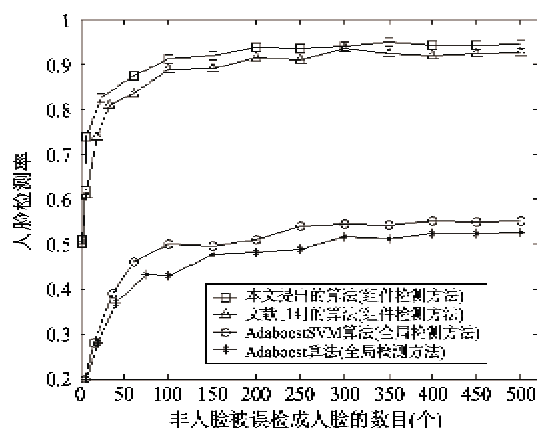


图4 四种算法的 ROC 曲线



图5 CUM + MIT 人脸库中经遮挡处理的图像



图 6 组件检测结果



图 7 遮挡组件的估计结果



图 8 人脸检测结果

表 1 算法的检测速度对比

算法	检测率	平均时间(s)
Adaboost 算法(全局检测方法)	52.6%	1.69
AdaboostSVM 算法(全局检测方法)	54.4%	1.73
文献[14]的算法(组件检测方法)	92.5%	5.86
本文提出的算法(组件检测方法)	94.2%	4.92

从图 4 的 ROC 曲线可以看出,本文提出的算法和文献[14]的算法都明显好于全局人脸检测方法。这是由于全局人脸检测方法在进行人脸检测时,需要用到整个人脸的信息,当人脸面部被部分遮挡时,则不能提供检测必需的所有信息,所以当遇到部分遮挡的人脸图像时,全局检测方法的检测性能明显下降。而本文提出的算法和文献[14]的算法都是基于组件检测的方法,在进行人脸检测时不需要人

脸的全部整体信息,只要能检测到部分未被遮挡的组件,通过组件之间的位置关系就可以定位检测出整个人脸,所以当面部存在部分遮挡时,其检测性能仍然较好。通过 ROC 曲线,还可以看出本文提出的算法的性能好于文献[14]的算法,这是由于本文提出的算法在组件整合验证时,基于组件距离匹配度函数对各组件进行两两验证,对人脸的漏检和误检都起到了较好的作用,所以检测性能得到了明显改善。从表 1 可以看出无论是本文提出的算法还是文献[14]的算法,与全局人脸检测算法相比都是相对耗时的,因为基于组件的方法,要分别检测出人脸的各个组件,还要进行组件的整合与验证,这些运算都需要一定的时间。然而,本文提出的算法的检测速度好于文献[14]的算法,这是由于本文提出的算法在组件整合验证时基于组件间距离匹配度函数进行简单的运算,而文献[14]在组件整合验证时需要进行图的构建与匹配的大量复杂运算,故此,本文提出的算法在速度上也有了一定的改善。

5 结 论

本文提出了一种基于组件距离匹配度函数的部分遮挡的人脸的检测算法,并给出了它与文献[14]的算法及全局人脸检测方法的检测性能与速度的对比实验。实验结果表明,本文提出的算法可以较好地解决面部被部分遮挡时的人脸检测问题,能够较为准确地检测出复杂背景下的部分被遮挡的人脸。本文给出的研究结果对研究一些面部被部分遮挡时的人脸检测问题具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 梁路宏,艾海舟,徐光祐等. 人脸检测研究综述. 计算机学报, 2002, 25 (5): 449-458
- [2] Tie Y, Guan L. Automatic face detection in video sequences using local normalization and optimal adaptive correlation techniques. *Pattern Recognition*, 2009, 42: 1859-1868
- [3] Yang M, Crenshaw J, Augustine B, et al. AdaBoost-based face detection for embedded systems. *Computer Vision and Image Understanding*, 2010, 114 (11): 1116-1125
- [4] Wu J X, Brubaker S C, Mullin M D, et al. Fast asymmetric learning for cascade face detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2008, 30(3): 369-381

- [5] Tsao W K, Lee A J, Liu Y H, et al. A data mining approach to face detection. *Pattern Recognition*, 2010, 43: 1039-1049
- [6] Yun J U, Lee H J, Paul A K, et al. Face detection for video summary using illumination- compensation and morphological processing. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30: 856-860
- [7] Khalid M A, Wei X, John L. Face detection technique based on skin color and facial features. In: Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Robotics and Automation, Cambridge, UK, 2010. 191-199
- [8] Lee K M. Component-based face detection and verification. *Pattern Recognition Letters*, 2008, 29: 200-214
- [9] Ichikawa K, Mita T, Hori O, et al. Component-based face detection method for various types of occluded faces. In: Proceedings of the 3rd International Symposium on Communications, Control, and Signal Processing, St Julians, Malta, 2008. 538-543
- [10] Heisele B, Serre T, Pontil M, et al. Component-based face detection. In: Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Kauai, USA, 2001. 657-662
- [11] Heisele B, Serre T, Pontil M, et al. Categorization by learning and combining object parts. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2002, 14: 1239-1245
- [12] Ichikawa K, Mita T, Hori O. Component-based robust face detection using AdaBoost and decision tree. In: Proceedings of the 7th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Southampton, UK, 2006. 413-420
- [13] Goldmann L, Monich U, Sikora T. Robust face detection based on components and their topology. In: Proceedings of the Visual Communications and Image Processing, San Jose, USA, 2006. 60771V-1-10
- [14] Goldmann L, Monich U, Sikora T. Components and their topology for robust face detection in the presence of partial occlusions. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2007, 3(2): 559-569
- [15] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In: Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Kauai, USA, 2001. 511-518
- [16] Li X C, Wang L, Sung E. A study of AdaBoost with SVM based weak learners. In: Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Montreal, Canada, 2005. 196- 201

A method for detection of partially occluded faces based on component distance matching degree function

Guo Song^{*}, Gu Guochang^{*}, Cai Zesu^{**}, Liu Haibo^{*}, Shen Jing^{*}

(^{*} School of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

(^{**} School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract

To solve the problem of detecting the faces with partial occlusions better, a face detection method based on the component distance matching degree function was proposed. The method was carried out in the study as below: Firstly, the AdaboostSVM algorithm, i. e. the Adaboost algorithm based on a support vector machine (SVM), was used to detect the components of the faces included in the input image. Then, the component distance matching degree function was given, which was determined by the mean and variance of the components' distance together. The component integration verification algorithm based on the function of the component distance matching degree was proposed, and the locations of the occluded components were estimated. Finally, the faces with partial occlusions were detected and located. The experimental results show that the proposed algorithm can enhance the performance and the speed of detection of partially occluded faces, and can detect the faces with partial occlusions exactly in a complex background.

Key words: face detection, component-based, partial occlusions, AdaboostSVM, component distance matching degree