

发表于

张洪明, 赵德斌, 高文. 基于肤色模型、神经网络和人脸结构模型的平面旋转人脸检测. 计算机学报, 2002 Vol. 25 No. 11, p 1250-1256

基于肤色模型、神经网络和人脸结构模型的平面旋转 人脸检测

张洪明¹ 赵德斌¹ 高文^{1,2,3}

¹(哈尔滨工业大学计算机科学与工程系 哈尔滨 150001)

²(中国科学院计算技术研究所 北京 100080)

³(中国科学院研究生院, 北京, 100039)

摘要

人脸检测是智能人机接口的关键技术之一,它在人脸识别、表情识别、人脸合成和人脸编码等领域具有重要的应用价值。本文针对复杂背景下的彩色图像,提出了一种基于肤色模型、人脸平面旋转角度检测和正面人脸结构特征的平面旋转人脸的检测算法。该方法首先建立了一个人脸肤色分布模型;其次采用神经网络计算和瞳孔定位操作,实现了由粗到精的人脸平面旋转角检测;最后提出了一种基于结构的正面人脸检测策略。实验结果表明,所提出的算法能够适应不同的光照环境,可以检测不同大小、不同平面旋转角的人脸。

关键词 人脸检测, 肤色模型, 神经网络, 人脸结构模型

本文的研究工作得到国家 863 计划项目(2001AA114190 和 2001AA114160)的资助。张洪明, 男, 1976 年生, 博士研究生, 主要研究领域: 人脸分析, 人脸识别、图像理解等, Email: hmzhang@jdl.ac.cn。赵德斌, 男, 1963 年生, 教授, 主要研究领域: 多媒体数据压缩, 图像处理, 多模式接口等。高文, 男, 1956 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究领域: 多媒体数据压缩、图像处理、计算机视觉, 多模式接口, 人工智能、虚拟现实等。

Face Detection Under Rotation in Image Plane Using Skin Color Model, Neural Network and Feature-based Face Model

ZHANG Hong-Ming¹ ZHAO De-Bin¹ GAO Wen^{1,2,3}

¹(Department of Computer Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

²(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

³(Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract Face detection is a key problem in intelligent visual human computer interaction research. It is essential to many applications, for example, human face synthesis, face recognition, face tracking, pose estimation, facial expression recognition and object oriented image coding. Automatic localization of human faces is still a challenge because of several difficulties, such as variable face orientations, different face sizes, partial occlusions of faces, and changeable lighting conditions. In this paper, we present an algorithm to face detection under rotation in image plane. It is a hierarchical approach, which integrates a skin color model, a neural network and a feature-based front face detector. First, the skin color model, which is built for Asian people and Euramerican people, is used to segment face like regions from any input color image. In the face like regions, each 19×19 pixel window at different scales is taken as a face candidate. Then a coarse to fine strategy is designed to acquire accurate face rotation degree with a neural network and by an iris locating operation. According to the acquired rotation degree, each face candidate window is rotated to be upright. Finally, the feature-based front face detector is developed to verify face patterns. Regarding to this detector, we propose a face structure model that is described by three key facial feature points (left eye center point, right eye center point and mouth center point), and provide a method for facial feature point localization. By geometrical relationship of the key facial feature points and texture distribution of face patterns, the front face detector determines whether or not the rotated window is an upright face. Experiments on color images with cluttered scenes show that the presented algorithm is robust for human faces under rotation in image plane, and it is flexible to various lighting conditions and different face sizes.

Keywords: Face detection, skin color model, neural network, face structure model

1 引言

人脸检测的任务是在复杂背景下检测图像中有人脸，从而判断人是否存在，并提取出人脸面部图像信息。在很多应用领域中需要自动提取人脸，例如人脸识别、人脸合成和基于对象的编码等。人脸检测是一项十分困难的工作，原因主要有几个方面：1.复杂的成像背景；2.人脸结构和纹理变化较大；3.光照不均匀（特别是偏光）影响了人脸特征的规律性等。

人脸是受到多种因素影响的复杂模式，找到一种有效的方法提取人脸的共性特征来描述人脸模式(即人脸的建模)，是人脸检测的关键。概括而言，目前的技术可分为基于模板的方法(Template-based)^[1,2,3,4,5]和基于特征的方法(Feature-based)^[6,7]两大类。基于模板的方法将人脸看作一个整体的模式，即二维的像素矩阵。该方法从统计的观点，通过大量的人脸图像样本构造人脸模式空间，根据相似度量来判断人脸是否存在。它所采用的机制主要包括神经网络^[1]、概率分布^[2]、支持向量机^[3]、主成分分析^[4]和局部特征分析^[5]等。基于特征的方法将人脸视为显著器官的组合，它首先提取一些重要的特征：眼、鼻、嘴唇等，然后通过特征的位置和它们之间的几何关系来检测人脸^[6,7]。此外，利用彩色信息进行人脸检测，也是一种有效的方法^[8]。许多研究者利用肤色模型首先定位人脸候选区域，然后通过形状分析和几何特征分析来检测人脸^[9,10]。

上述这些方法基本上都是针对正面人脸检测的，完善的人脸检测模型必须能够检测多姿态的人脸。多姿态人脸是由正面人脸作深度旋转和平面旋转而形成的，姿态空间由三个旋转方向表示，分别是上下旋转、左右旋转和平面旋转^[4]，如图 1 所示。

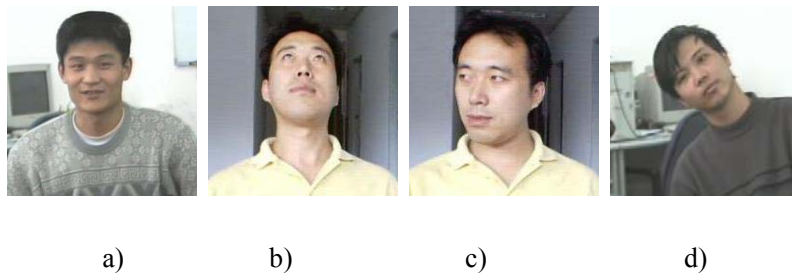


图 1 人脸的多姿态 a)正面 b)上下旋转 c)左右旋转 d)平面旋转

目前，基于灰度图像的平面旋转人脸的检测主要有三种途径。第一种方法是建立离散姿态的人脸样本集，形成多个模板来量化姿态^[1]；第二种策略是在正面人脸检测技术的基础上，将测试图像按一定的角度顺序依次旋转后再检测其中的正面人脸^[7]；第三种思路是以正面向上人脸为标准图像样本，采用神经网络计算得到测试样本的旋转角度，并将其校正为标准图像样本作为正面人脸检测器的输入，来判断它是否为人脸^[11]。



以上基于灰度图像的平面旋转人脸的检测方法计算量大，从而降低了检测速度；而在彩色图像中，人脸肤色对姿态变化不敏感，并且彩色信息特征易于提取。因此，本文选用彩色图像作为研究对象，提出了一种复杂背景下的平面旋转人脸的检测算法。它包含基于彩色信息的图像分割、旋转角度检测和正面人脸检测等三个模块，见图 2 所示。

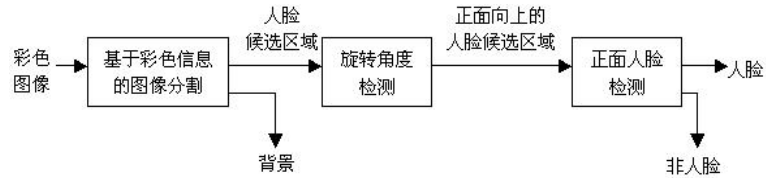


图 2 平面旋转人脸的检测系统结构

对任意一幅输入的彩色图像，首先经过颜色分割，产生初始的人脸候选区域。在彩色输入图像所对应的灰度图像中，按选定的比例，获取不同分辨率的窗口区域，并把它缩放为固定大小的 19×19 的图像窗口，称之为扫描窗口。人脸候选区中的扫描窗口依次经过以下两步处理。第一，旋转角度检测模块将扫描窗口作为输入，其输出代表了扫描窗口作为人脸模式的旋转角信息。第二，按照旋转角度将扫描窗口校正为正面向上姿态，利用正面人脸检测模块，来判断其是否为人脸。这样，如果输入的彩色图像中含有人脸，那么就可以获得它们的位置、大小和平面旋转角度等信息。

本文其它部分组织如下：第 2 节提出了人脸的肤色分布模型；人脸平面旋转角的检测方法在第 3 节介绍；第 4 节提出了基于结构的正面人脸检测方法；实验结果和结论在最后给出。

2 基于彩色信息的图像分割

彩色信息常常作为一种有效的特征，在图像分割中得到应用。在 HSV(Hue-Saturation-Value)色彩模型中，彩色有三种特性：色调、饱和度和亮度。色调和饱和度合称为色度。一般说来，色度和亮度是相互独立的。在不同的光照条件下，虽然物体颜色的亮度会产生很大的差异，但是它的色度具有恒常性，基本保持不变^[12]。

人脸肤色大致上分为黄色、棕色、黑色和白色等，它们在颜色空间都对应着一定的分布区域，形成特定的模式。因此，可以利用肤色特征进行人脸分割。本文主要针对亚洲人和欧美人进行了人脸肤色模型的研究，提出了一种在彩色图像中分割人脸肤色区域的方法。

2.1 人脸肤色模型

常见的彩色表示方法是基于三基色理论的 RGB 空间，由 RGB 空间经过变换，可以得到彩色的色度表示。本文分别在 YUV 空间和 YIQ 空间上进行人脸肤色分布特性的分析。

在 YUV 空间中, U 和 V 是平面上的两个相互正交的矢量, 如图 3(a)所示。色度信号(即 U 与 V 之和)是一个二维矢量, 称之为色度信号矢量。每一种颜色对应一个色度信号矢量, 它的饱和度由模值 Ch 表示, 色调由相位角 θ 表示:

$$Ch = \sqrt{|U|^2 + |V|^2}, \quad \theta = \tan^{-1}(V/U)。$$

亚洲人和欧美人人脸肤色的色调一般介于红与黄之间。我们根据对人脸图像样本的 θ 值分析结果(如图 3(b)所示), 可以认为人脸肤色的色调范围是在 105° 和 150° 之间。

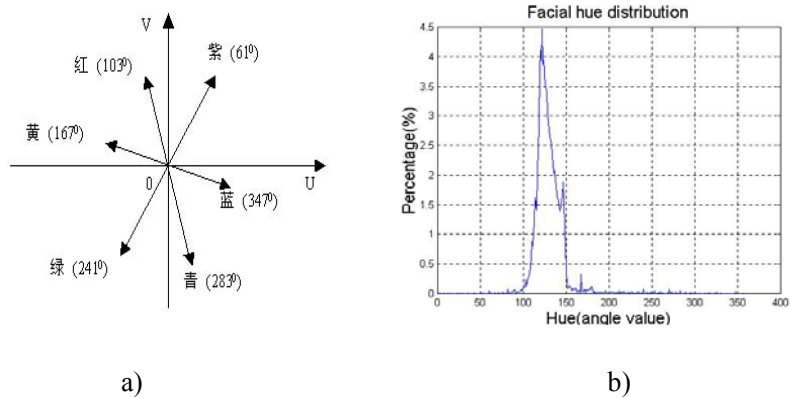


图 3 a) YUV 颜色空间: 色度信号矢量平面 b) 人脸色调分布: 相位角 θ

以相位角 θ 为特征进行图像分割可以滤掉与人脸肤色在色调上有较大区别的背景, 我们还可以在 YIQ 空间上利用彩色的饱和度信息来增强分割效果。 YIQ 空间表示法的原则是使信号的冗余信息量最小。人脸肤色包含了较多的黄色分量。 I 分量代表了从桔黄到蓝绿的色调, I 值越小, 包含的黄色越多, 蓝绿色越小^[13]。我们通过试验发现人脸肤色在 YIQ 空间内的 I 值在一个特定范围变化, 如图 4 所示, 可以确定其范围是在 30 到 100 之间。

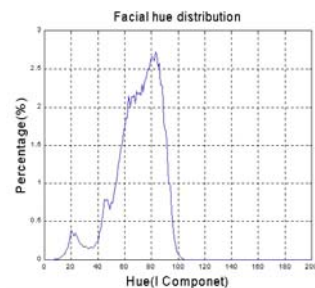


图 4 人脸色调分布: I 分量

采用 YUV 空间的相位角 θ 和 YIQ 空间的 I 分量作为特征, 能够联合确定人脸肤色的色度信息分布范围。由此建立人脸肤色模型, 即彩色图像的象素 p 由 RGB 空间变换到 YUV 空

间和 YIQ 空间，如果同时满足条件： $105^{\circ} \leq \theta \leq 150^{\circ}$ 和 $30 \leq I \leq 100$ ，则 p 是肤色点。

2.2 基于肤色信息的彩色图像分割方法

对任意一幅彩色图像，可以执行基于肤色特征的分割操作。首先，计算原图像中每个像素的色调值，得到色调图像。然后，按照人脸肤色模型阈值化色调图像，得到粗略的包含人脸候选区（灰度值是 255）和背景（灰度值是 0）的二值分割图。这样的分割图中，有大量微小的区域，而且在面积较大的连通区域中还有一些微小的空洞，这些是图像中的噪音。因此，采用数学形态学中的闭运算算子来对二值分割图进行了平滑处理。最后，通过一个区域合并与标号的算法，可以计算求出二值分割图中有多少个连通的白色区域，以及每个区域的位置、面积，作为人脸候选区的初始信息。

2.3 实验实例

本文提出的基于肤色信息的彩色图像分割方法简单而有效的提取出了肤色区域，从而在图像中得到了人脸候选区域。图 5 是对彩色图像采用基于肤色分割处理的实例。(c)是(a)的分割结果，图中的白色矩形表示的是人脸候选区，白色矩形的中心是人脸候选区的中心。

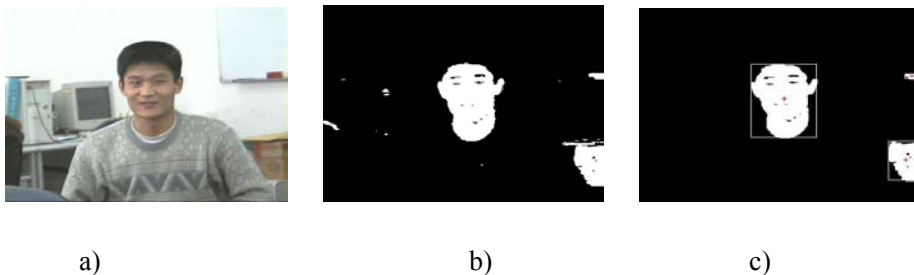


图 5 基于肤色模型的彩色图像分割 a)原始彩色图像 b)粗略分割图 c)经过平滑后的标号图像

3 人脸平面旋转角的检测方法

在确定人脸候选区域后，平面旋转人脸的检测算法的关键环节是如何获取人脸的旋转角度。如果以平面内正面向上人脸图像作为 0° 坐标标准人脸图像，并且以顺时针方向为正方向，那么正面人脸是平面旋转人脸的一个特例，旋转角度为 0° 。将图像平面划分为上下两部分，我们只考虑了人脸在上半平面内的情况，即人脸的旋转角度是从 -90° 到 $+90^{\circ}$ 。对于人脸在下半平面内的情况，在处理方法上是相同的。与利用神经网络直接计算人脸平面旋转角度的一般方法^[11]不同，本文提出了一个由粗到精的策略。首先，利用人工神经网络对扫描窗口进行处理，得到它的大致旋转方位；然后在此基础上进行瞳孔定位，精确计算其旋转角度。

3.1 利用人工神经网络检测旋转角

如上所述，检测人脸旋转角的第一步是粗略估计人脸的旋转方位，为此我们设计了一个人工神经网络，并采用 BP 学习算法进行训练。训练用的样本数据是 19x19 的人脸灰度图像的集合，样本图像要经过预处理，如图 6(a)所示。首先用一个 19x19 的二值模板与人脸样本叠加，以消除样本边缘的背景象素和人脸上的头发，这样每个样本被表示为一个 283 维的特征矢量，然后对样本矢量进行直方图均衡化。

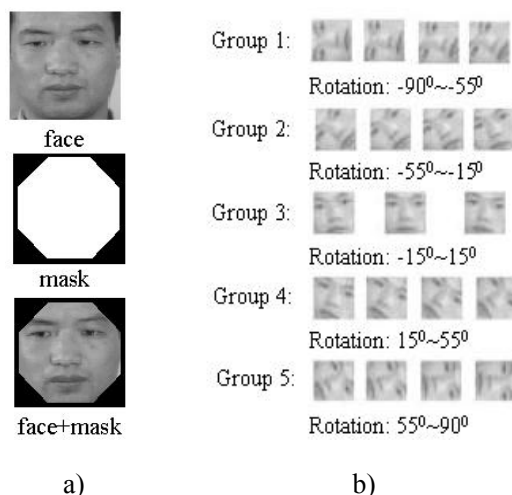


图 6 a)人脸样本模板 b)训练样本数据实例

我们搜集并产生了 1235 幅人脸样本。根据人脸不同的旋转方位，将训练样本划分为 5 类。每一类代表一定旋转范围的人脸集合。表 1 说明了多姿态人脸旋转范围分类情况。之所以采用这种分类标准，是综合考虑样本数据在空间中的类别可分离性和类内可聚类性而采取的均衡。如果每一类中包含的范围过大，则样本的类内可聚类性差；反之如果类别过多，则类别之间的可分离性差。图 6(b)是训练样本数据实例。

表 1 人脸样本旋转范围分类

类别	角度范围	样本输出: $y = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5)$				
		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
1	$-90^0 \sim -55^0$	1	0	0	0	0
2	$-55^0 \sim -15^0$	0	1	0	0	0
3	$-15^0 \sim 15^0$	0	0	1	0	0
4	$15^0 \sim 55^0$	0	0	0	1	0
5	$55^0 \sim 90^0$	0	0	0	0	1

训练得到的 BP 网的输入是 283 维的归一化矢量，输出是 5 维矢量。对任意输入矢量 x ，

网络输出是 $y = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5)$ ，取 y 中分量最大值对应的类作为输入矢量的类别，即

$$f(x) = \arg (\max_i \{y_i, i = 1, 2, 3, 4, 5\})。$$

对于向上的人脸图像，可以得到它的旋转范围；对于非人脸图像或向下人脸图像，输出是一个无意义的结果，但经过校正后仍然不是向上的人脸图像，故不能通过正面人脸检测器。

3.2 瞳孔定位

神经网络的分类输出，不足以获取精确的旋转角度，但是它为眼睛定位提供了很好的初始信息。因此，在扫描窗口中，首先可以根据人脸的大致旋转范围迅速地找到眼睛区域，然后对眼睛区域进行平滑处理，并在其中定位出两个灰度最小的像素，作为瞳孔的位置，最后计算出人脸的精确旋转角度。这样，一个平面旋转的人脸图像，就可以被校正为标准向上姿态的图像，为下一步正面人脸检测模块提供输入数据。

4 基于结构的正面人脸检测方法

平面旋转人脸的检测算法最后过程是采用正面人脸检测算法，来判断校正后的扫描窗口图像是否属于人脸模式。本文提出了一个基于结构的正面人脸检测方法。

我们将人脸图像灰度分布看作一个三维曲面，正面人脸的结构特征可以概括为如下：

1. 一些主要器官，如眼睛、鼻子、嘴部等区域，具有比较低的灰度，其中包含曲面上的极值点，这些是刻画人脸的关键特征点；
2. 除了这几个主要器官外，人脸的其它部分灰度变化比较平缓。

图 7 是 19x19 的正面人脸图像的灰度分布地形图。人脸图像的行和列分别位于 X 轴和 Y 轴，灰度位于 Z 轴表示地形的高低（显示的是反图像，即每个像素的灰度值是 255 减去原灰度值的差）。可以看出，三个峰值区域大致对应于双眼和嘴部，其它区域的灰度变化比较平缓。

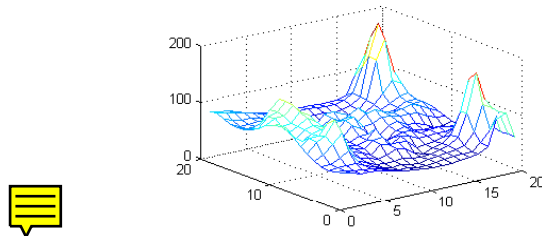


图 7 人脸灰度分布地形图

据此，我们提出了一个基于结构的正面人脸检测算法，它的基本思想是通过判断输入图

像是否具有人脸结构特征来进行人脸检测。下面以图 8 为例进行说明。图 8 中显示的是 19x19 的正面人脸图像， A 点、 B 点和 C 点分别表示双眼和嘴部区域的极值点。 A 和 C 确定的矩形区域称为 R_1 ， B 和 C 确定的矩形区域称为 R_2 。将人脸图像二值化，定义 K_1 和 K_2 分别为 R_1 和 R_2 中白色点所占比例。

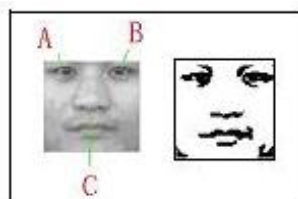


图 8 人脸结构特征

A 、 B 和 C 的位置反映了人脸结构的第一个特征，即主要器官之间存在一定的几何关系。 K_1 和 K_2 刻画了人脸的第二个特点，分别反映了区域 R_1 和 R_2 的平滑程度。因此我们采用两个规则来描述人脸结构特征。

规则 1：它们构成一个锐角三角形。

- (a) A 和 B 基本上在同一水平线上；
- (b) 在水平方向上， C 点在 A 点和 B 点之间；
- (c) 在垂直方向上， C 点在 A 和 B 的下方；
- (d) 三角形 ΔABC 是锐角三角形。

规则 2： K_1 和 K_2 分别反映了区域 R_1 和 R_2 的平滑程度。

- (a) $K_1 \geq 0.6$ 或 $K_1 \leq 0.4$ ；
- (b) $K_2 \geq 0.6$ 或 $K_2 \leq 0.4$ ；
- (c) $|K_1 - K_2| \leq 0.2$ 或 $|1 - K_1 - K_2| \leq 0.2$ 。

基于结构的正面人脸检测算法的输入是一幅 19x19 的灰度图像 I 。若输入图像属于人脸模式，即满足人脸结构特征，则返回人脸信息；否则判断为非人脸。具体描述如下：

1. 预处理：对输入图像 I 进行区域分割，得到特征点 A 、 B 和 C 。
2. 如果特征点 A 、 B 和 C 不满足规则 1，则输入图像 I 为非人脸，退出。
3. 如果 K_1 和 K_2 不满足规则 2，则输入图像 I 为非人脸，退出。
4. 返回人脸信息。

算法预处理步骤的关键是定位特征点 A 、 B 和 C ，采用的方法是：首先，对灰度图像平滑后进行区域分割，得到能够大致反映灰度分布结构的分割图像；然后获得每个区域中的灰度值最小点，作为候选特征点；最后，选取三个具有最小灰度值的候选特征点作为特征点。图 9 是人脸特征点提取的示例。

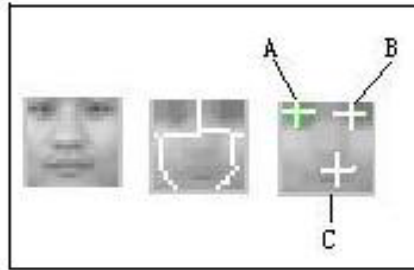


图 9 人脸特征点提取

5 实验结果

我们实现了一个平面旋转人脸的检测系统，将提出的方法针对实际的彩色图像进行实验，来验证它的有效性和鲁棒性。该系统采用的模块包括：基于彩色信息的分割、旋转角检测和基于结构的正面人脸检测，见图 2 所示。其中神经网络是针对平面内向上的人脸图像样本训练得到的。

本文采用了 96 幅图像作为测试图像集，共有 155 个人脸，其中 46 个人脸是平面旋转的。这些图像涵盖了不同的光照条件，包括室内和室外的自然光照和人工光照等。具体的测试结果如表 2 所示。

表 2 人脸检测的测试结果

测试集中人脸的总数目	正确检测的人脸个数	漏检的人脸个数	误检的人脸个数
155	125	30	20

图 10 是实验结果部分示例。图中的白色矩形框指示了检测到的人脸的位置和大小。可以看出，绝大部分的人脸都被正确地检测到，包括一些戴眼镜的人脸。同时有一部分人脸没有被检测到，还有一部分检测结果不属于人脸模式。

对造成错误检测结果的原因进行了分析。漏检的原因主要是人脸被严重遮挡，尽管能够通过肤色模型的检验，但不能被正确地检测出旋转角度，从而被当作非人脸而排除。误检的结果，主要是由神经网络模块和正面人脸检测模块共同引起的，例如背景里存在和人脸极为相似的模式。

从检测速度上分析,本文方法在第一级模块中运用基于彩色信息的图像分割可以筛选出人脸候选区域,为后面两级过程中减少了搜索步骤。因此,和基于灰度图像的平面旋转人脸的检测方法相比,本文方法具有检测速度快的特点。



图 10 平面内向上的人脸检测实验结果

如第 3 节所述,对于位于平面旋转向下的人脸,同样可以采用神经网络和瞳孔定位来计算其旋转角度。本文训练了一个用于检测平面内向下人脸的旋转角度的神经网络,从而将检测的范围扩大到了整个平面内。图 11 是实验结果部分示例。



图 11 平面内向下的人脸检测实验结果

6 结论

本文针对复杂背景的彩色图像,提出了一种平面旋转人脸检测方法。这种方法综合利用

了基于彩色信息的图像分割、人脸平面旋转角度计算和基于结构特征的正面人脸检测等技术,构成一个多级结构的算法来检测人脸。我们建立了一个主要针对亚洲人和欧美人的人脸肤色模型,来进行人脸候选区域分割。采用神经网络计算和瞳孔定位操作,计算得到了人脸平面旋转角。此外,提出了一个基于结构的正面人脸检测方法。实验结果表明,该方法有效的解决了平面旋转人脸的检测问题,能够适应不同光照环境,具有速度快的特点。

参考文献

- [1] Rowley H A, Baluja S, Kanade T. Neural network-based face detection. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, 20(1): 23-38
- [2] Sung K K, Poggio T. Example-based learning for view-based human face detection. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, 20(1): 39-50
- [3] Osuna E, Freund R, Girosi F. Training support vector machines: an application to face detection. In: *Proceedings of the Sixth IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Puerto Rico, 1997. 130-136
- [4] Liu M B. Study on Human Face Detection and Tracking [Ph.D.Dissertation]. Harbin Institute of Technology, Harbin, 1997 (in Chinese)
(刘明宝.人脸检测与跟踪的研究[学位论文]. 哈尔滨工业大学,哈尔滨, 1997)
- [5] Penev P S, Atick J J. Local feature analysis: a general statistical theory for object representation. *Network: Computation in Neural Systems*, 7 (3): 477-500
- [6] Morimoto C H, Flickner M. Real-time multiple face detection using active illumination. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, Grenoble, France, 2000. 8-13
- [7] Miao J, Yin B C, Wang K Q, Shen L S, Chen X C. A hierarchical multiscale and multiangle system for human face detection in a complex background using gravity-center template. *Pattern Recognition*, 1999, 32 (7): 1237-1248
- [8] Dai Y, Nakno Y. Face-texture model based on SGLD and its application in face detection in a color scene. *Pattern Recognition*, 1996, 29 (6): 1007-1016
- [9] Sobottka K, Pitas I. A novel method for automatic face segmentation, facial feature extraction and tracking. *Signal Processing: Image Communication*, 1998, 12 (3): 263-281
- [10] Sun Q B, Huang W M, Wu J K. Face detection based on color and local symmetry

- information. In: Proceedings of the Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Japan, 1998. 130-135
- [11] Rowley H A, Baluja S, Kanade T. Rotation invariant neural network-based face detection. In: Proceedings of the Seventeenth IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Santa Barbara, California, 1998. 38-44
- [12] Jing Q C, Jiao S L, Yu B L, Hu W S. Chromatics. Beijing: Science Press, 1979 (in Chinese)
(荆其诚, 焦书兰, 喻柏林, 胡维生. 色度学. 北京: 科学出版社, 1979)
- [13] Yang C R. Television Theory. Beijing: People's post and telecommunications publishing house, 1988 (in Chinese)
(羊昌堯. 电视原理. 北京: 人民邮电出版社, 1988)

电话: 010-82649018(0)
Email: hmzhang@jdl.ac.cn

作者简介



张洪明

男，1976 年生，博士研究生，研究方向：人脸分析、人脸识别、图像理解等

Email: hmzhang@jdl.ac.cn

ZHANG Hong-Ming, male, born in 1976, Ph.D. candidate at Harbin Institute of Technology. Current research interests include face analysis, face recognition and image understanding.

赵德斌

男，1963 年生，教授，研究方向：多媒体数据压缩、图像处理、多模式接口等

Zhao De-Bin, male, born in 1963, professor in Harbin Institute of Technology. Current research interests include multimedia data compression, image processing, and multimodal interface.

高文

男，1956 年生，教授，博士生导师，研究方向：多媒体数据压缩、图像处理、计算机视觉，多模式接口，人工智能、虚拟现实等

GAO Wen, male, born in 1956, professor in Harbin Institute of Technology, the Chief Scientist in Institute of Computing Technology of Chinese Academy of Sciences. Current research interests include multimedia data compression, image processing, computer vision, multimodal interface, artificial intelligence, and virtual reality.

本文的研究工作得到国家 863 计划项目(2001AA114190 和 2001AA114160)的资助。

上网摘要的图表：图 2 和图 10

本文通讯联系人：

张洪明，

地址：北京，100080，中科院计算技术研究所数字化技术研究室

电话：010-82649018(0)

Email: hmzhang@jdl.ac.cn