

# 基于新颜色空间 YCgCr 的人脸检测与定位<sup>\*</sup>)

王建国<sup>1,2</sup> 王江涛<sup>1</sup> 杨静宇<sup>1</sup>

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)<sup>1</sup> (唐山学院网络教育中心 唐山 063000)<sup>2</sup>

**摘要** 提出了一种基于肤色的复杂背景彩色图像中人脸检测的方法。首先在新颜色空间 YCgCr 上对输入图像进行肤色检测并应用预处理技术缩小人脸检测的搜索区域;然后在物体区域方向计算的基础上,提出了能够检测任意旋转角度人脸的方法;最后对人脸候选区域采用模板匹配方法检测人脸,去除非人脸区域,降低误检率。实验结果表明,提出的方法对不同尺寸、任意旋转的人脸有较好的检测效果。

**关键词** 人脸检测,人脸方向, YCgCr 颜色空间,模板匹配

## Face Detection and Location Based on a Novel Color Space YCgCr

WANG Jian-Guo<sup>1,2</sup> WANG Jiang-Tao<sup>1</sup> YANG Jing-Yu<sup>1</sup>

(School of Computer Science & Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)<sup>1</sup>

(Tangshan College, Network & Education Center, Tangshan 063000)<sup>2</sup>

**Abstract** Presenting a method for face detection based on the skin color in color images with complex backgrounds. Firstly, skin color of the inputted images is detected in the YCgCr color space and preprocessing techniques are introduced to reduce the searching areas of the face detection. Secondly, proposing a method that can detect arbitrary rotated faces based on the computation of the direction of the object. Finally, using template-matching method in the face candidate regions to detect faces, removing the non-face regions, reducing the false detection. The experiment results show that the proposed face detection method has more better detection results to different scales and arbitrary rotated faces.

**Keywords** Face detection, Face direction, YCgCr color space, Template matching

## 1 引言

人脸识别是目前非常热门的研究课题之一,在安全验证、监测系统、个人身份鉴定、人机交互等领域有着广泛的应用。一个完整的人脸识别系统包括两部分:一是人脸检测,二是人脸识别。其中人脸检测部分的任务就是在图像中检测是否存在人脸,如果存在,就返回人脸的位置及空间区域(范围)。由于这一部分是在缺乏先验信息的情况下进行的(如场景中人脸的数量、位置、大小、方向、姿态等信息未知),因此变得非常困难和复杂。

近年来,由于彩色图像的应用越来越多,并且肤色信息具

有尺度、方向不变等特性,因此基于肤色信息针对彩色图像的人脸检测<sup>[1]</sup>受到了越来越多的研究人员的重视,它和基于灰度图像的人脸检测<sup>[2]</sup>相比,大大缩短了检测时间,且有较好的检测效果。

本文首先基于“Gray World”假设<sup>[3]</sup>,在 RGB 颜色空间对偏色图像进行颜色校正,解决了色彩偏移问题;然后在新颜色空间 YCgCr 上对输入图像进行肤色分割,缩小人脸检测的搜索区域;最后借助于物体方向计算的方法,提出了能够检测任意旋转角度的人脸方法,并采用模板匹配方法检测定位人脸。其工作过程见图 1。

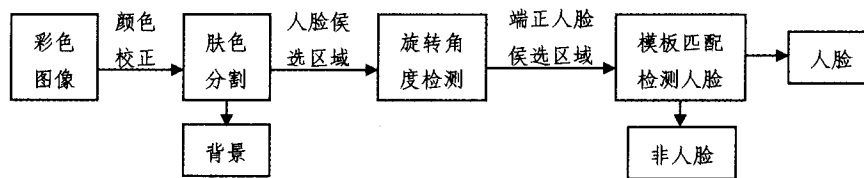


图 1 人脸检测流程图

实验表明,针对复杂背景的彩色图像,本文提出的方法能够快速、有效地检测不同尺寸、任意位置的人脸。

## 2 人脸区域初检

主要任务是获得人脸候选区域,包含以下几个步骤:偏色校正、肤色分割及预处理、利用一些规则去除一些区域、保留可能的人脸区域。

### 2.1 色彩平衡方法

在基于肤色的人脸检测方法中,肤色模型通常都是在标准光源下建立的。这种肤色模型不能正确检测照明偏离标准光源时形成的图像中的肤色。色彩平衡方法则主要解决了这种由于光源条件带来的色偏问题。

### 2.2 颜色空间的选择及肤色模型的建立

由于 RGB 颜色空间对光强的变化很敏感,不适合建立肤色模型,进行肤色检测,因此本文采用亮度和色度分离的颜色空间 YCgCr。该颜色空间将 RGB 分解成亮度信息和色度信

<sup>\*</sup>)国家自然科学基金资助项目(编号:60072034)。王建国 博士生,副教授,主要从事模式识别、计算机网络的研究;王江涛 博士生,主要从事模式识别、图像处理的研究;杨静宇 教授,博导,主要研究领域为计算机视觉、信息融合、模式识别、智能机器人。

息,分别进行处理,且具有和人的感知一致性的优点。其中 Y 代表图像的亮度信息,Cg 和 Cr 分量代表颜色信息。

肤色模型是在一定颜色空间描述肤色分布规律的数学模型,它是肤色检测的基础。我们手工剪裁了 105 幅肤色图片(共 765188 个肤色像素点,包含亚洲和欧美洲人,有较宽的亮度范围),在 YCgCr 颜色空间中进行肤色分布统计,并建立了肤色模型。

### 2.3 肤色分割及肤色区域的预处理

经过肤色检测得到了二值图像的连通区域。为减少人脸检测的搜索空间,需对检测到的候选人脸区域进行预处理,去除部分非人脸肤色区域。

## 3 人脸区域检测与定位

在上一节的基础上利用模板匹配方法进行人脸检测,确定可能的人脸候选区域;为能够检测任意角度旋转的人脸,本文通过对物体区域方向的计算方法进行分析和实验,提出了计算任意角度旋转人脸候选区域旋转角度的计算方法。

### 3.1 人脸区域旋转角度的计算

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,需在模板匹配前对人脸候选区域进行旋转方向检测。由于人脸区域具有大致的椭圆形状,因此该人脸区域的几何描述(位置、大小、方向、形状)可以用区域的矩来描述<sup>[4]</sup>。在数字图像中用式(1)计算(p+q)阶矩:

$$m_{pq} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} i^p j^q f(i, j) \quad (1)$$

公式中 i, j 是区域点的坐标(数字图像中的像素坐标)。式(2)是中心矩的计算公式:

$$\mu_{pq} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (i-x_c)^p (j-y_c)^q f(i, j) \quad (2)$$

通过中心矩可以取得区域的平移不变性。式中 x<sub>c</sub> 和 y<sub>c</sub> 是区域重心(质心)的坐标,用式(3)计算得到:

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (3)$$

人脸区域旋转角度的计算采用文[5]中的旋转角度计算公式。该文中指出,二阶中心矩展示了区域的两个主轴(长、短轴)和方向,区域的主轴由矩阵(4)的特征向量张开:

$$\begin{bmatrix} \mu_{20} & \mu_{11} \\ \mu_{11} & \mu_{02} \end{bmatrix} \quad (4)$$

计算矩阵(4)的特征值就得到了区域长短轴的长度,即 λ<sub>max</sub> 和 λ<sub>min</sub>。

$$\begin{cases} \lambda_{\max} = \frac{1}{2} (\mu_{20} + \mu_{02} + \sqrt{\mu_{20}^2 + \mu_{02}^2 - 2\mu_{02}\mu_{20} + 4\mu_{11}^2}) \\ \lambda_{\min} = \frac{1}{2} (\mu_{20} + \mu_{02} - \sqrt{\mu_{20}^2 + \mu_{02}^2 - 2\mu_{02}\mu_{20} + 4\mu_{11}^2}) \end{cases} \quad (5)$$

这里区域长轴的方向决定了区域的方向,它是长轴和 X 轴的夹角。计算方法见式(6)。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\lambda_{\max} - \mu_{20}}{\mu_{11}} \right) \quad (6)$$

其中,  $\mu_{11} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m (x-x_c)(y-y_c)f(x,y)$ ,  $\mu_{20} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m (x-x_c)^2 f(x,y)$ ,  $\mu_{02} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m (y-y_c)^2 f(x,y)$ 。

旋转角度 θ 值的分析与实验:令  $X = \left( \frac{\lambda_{\max} - \mu_{20}}{\mu_{11}} \right)$ , 有  $-\infty < X < +\infty$ , 则,  $\theta = \tan^{-1}(X)$ , θ 的取值为

$$-(\pi/2) + n\pi < \theta < (\pi/2) + n\pi, n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, \quad (7)$$

上式中旋转角度的正值表示物体区域按该角度逆时针旋转后区域长轴与 X 轴重合,旋转角度的负值表示物体区域按该角度顺时针旋转后区域长轴与 X 轴重合。

公式(6)是在笛卡尔坐标系中计算物体区域长轴和 X 轴的夹角。由于该长轴不具方向性,即图 2 中长轴都没有箭头,这样图 2(a)和图 2(b)中物体区域旋转角度一致,图 2(c)和图 2(d)中物体区域旋转角度一致。因此在计算物体区域方向时,令表达式(7)中的 n=0,可以充分表达物体的长轴方向。在文[5]中就是将人脸区域看作是没有方向的物体区域计算旋转角度的。虽然文[5]能够检测到倒置的人脸,但是不能准确判别人脸位置,即人脸经过旋转后不能确定是否为端正的人脸。

由于人脸是有方向的,即其长轴指向眼睛的方向,图 2 中长轴的箭头代表人脸的方向(指向眼睛方向),因此仅按照用表达式(7)中的 n=0 计算得到的旋转角度对人脸候选区域旋转后,就没有办法确定人脸候选区域的长轴和 X 坐标轴的哪个方向一致,即旋转后的人脸候选区域中的长轴方向可能和 X 的正半轴、X 的负半轴方向一致,所以,这里令 n=0 和 1, 则 θ 的取值为

$$\theta = \begin{cases} \theta, n=0 \\ \theta + \pi, n=1 \end{cases} \quad (8)$$

另外,由于公式(6)计算的是区域长轴和 X 轴的夹角,当用这个角度来旋转人脸时,还要将其调整为长轴和 Y 轴的夹角,即

$$\theta = \theta + \pi/2 \quad (9)$$

通过公式(9)计算得到的旋转角度进行旋转才能够正确旋转人脸。由于经过公式(9)的调整,人脸区域的长轴和 Y 轴方向平行,但是还不能判断人脸是端正的还是倒置的。为能够检测出任意角度旋转的人脸,我们对 θ 值再次调整。将公式(8)代入公式(9),得到其等价公式:

$$\theta = \theta + \pm \pi/2 \quad (10)$$

这样就得到了人脸候选区域旋转后的两个位置,分别与 Y 的正、负半轴方向一致。对这两个位置的人脸区域进行模板匹配,取匹配系数最大的区域旋转角度作为实际的旋转角度。图 2 给出了人脸区域方向的示意图。

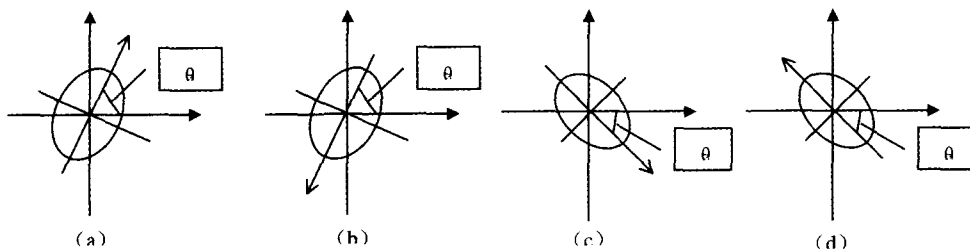


图 2 人脸区域方向示意图

### 3.2 模板匹配<sup>[6]</sup>定位人脸

文中所用到的模板<sup>[7]</sup>是由手工裁剪的同样大小的 25

幅人脸区域,经过尺度缩放、直方图均衡化处理后的平均脸,包含男人、女人不同表情的人脸组成。

模板脸和人脸候选区域的匹配系数经过实验得到,选为 0.55,其计算公式如下:

$$r = \frac{\sum_x \sum_y (M_{xy} - \bar{M})(R_{xy} - \bar{R})}{\sqrt{(\sum_x \sum_y (M_{xy} - \bar{M})^2)(\sum_x \sum_y (R_{xy} - \bar{R})^2)}} \quad (11)$$

其中,  $\bar{M}$  和  $\bar{R}$  分别为模板脸和人脸候选区域的均值。当  $r \geq 0.55$  时,就认为该区域为人脸。模板匹配人脸检测与定位效果见图 3、图 4、图 5。

#### 4 实验结果

本文实验所用的彩色图像是从互联网上下载的不同尺寸的图像,形成两个测试集:(1)简单测试集,如类似证件照的头部肩部图像、2~3 人集体照,人脸面积较大,无背景或者较简单背景,光照有变化,人脸旋转角度任意;(2)复杂测试集,有类肤色复杂背景存在,人脸个数、大小、位置未知,光照有变化,人脸多姿态、旋转角度任意。

用本文提出的方法对两个测试集进行了实验,表 1 是两个测试集的实验结果数据。

表 1 实验结果数据

图像总数	人脸总数	肤色检测正检人脸数	模板匹配正检人脸数	模板匹配误检人脸数
简单测试集	80	116	116	0
复杂测试集	28	120	112	13



图 3 一幅合成图像人脸检测



图 4 多人脸检测图

通过表 1 的实验结果数据可以看出,对于简单测试集,本

文提出的方法检测结果很好;对于复杂测试集,在肤色检测时,一张人脸由于尺寸太小而漏检,一张人脸由于曝光过度而漏检;在应用模板匹配后,有 6 个人脸漏检,主要由于脸部遮挡严重和脸部区域粘连,不能正确计算旋转角度而漏检,同时误检人脸数极大减少。

图 3、图 4、图 5 是实验结果的部分实例,图中白色矩形框指示了检测到的人脸的位置和大小。图 3 是利用本文提出的方法针对一幅合成的多个角度的人脸图像进行检测的结果。可以看到,本文提出的方法很好地解决了多角度人脸检测的问题。图 5 是人脸区域初定位实验所用图像的人脸检测效果图,所有人脸都检测到,有一处误检为人脸。



图 5 多人脸检测图(一处误检)

**结论及工作展望** 针对复杂背景的彩色图像,本文提出了一种融合多种技术的人脸检测方法。提出的方法首先利用了肤色信息在新颜色空间 YCgCr 中对彩色图像进行分割,然后通过计算人脸候选区域旋转角度并结合模板匹配技术进行人脸检测与定位。实验结果表明,本文改进的方法有效地解决了多角度旋转人脸的检测问题,能够对不同光照环境、不同尺寸、戴眼镜、任意旋转的人脸有较好的检测效果,且误检率低。

由于在肤色检测过程中,有可能形成人脸粘连区域,出现预处理阶段真正人脸丢失的现象,我们下一步的工作是在该工作基础上,解决人脸区域粘连的问题,降低漏检率。

#### 参考文献

- Hsu R-L, Abdel-Mottaleb M, Jain A K. Face detection in color images. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24:696~706
- Yang M-H, Kriegman D J, Ahuja N. Detecting faces in images: A survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(1):34~58
- Chiang J. Gray World Assumption. <http://scien.stanford.edu/class/psych221/projects/99/jchiang/intro2.html>
- 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
- Bayoumi F, Fouad M, Shaheen S. Feature-based human face detection. In: Proceedings of the Twenty-First National Radio Science Conference, 2004. C21-1-10
- 章毓晋. 图像理解与计算机视觉[M]. 北京:清华大学出版社,2000
- Naseem I, Deriche M. Robust human face detection in complex color images. In: IEEE International Conference on Image Processing, (ICIP) Vol2(II), 2005. 338~341

(上接第 173 页)

map 应用于 E-learning 系统,使得系统更个性化和职能化。

#### 参考文献

- Wang Zhiliang. Artificial Psychology-a most Accessible Science Research to Human Brain. Journal of University of Science and Technology, 2000, 22(5)
- Xin Huaji. Primary and secondary teaching model research-based Learning Website. Nanjin Normal University, 2004
- Bruner J S. The process of education. New York: Vintage Books, 1960

- Marshall D L L, Jones G, Plants R T. Instructional and Cognitive Impact of Web Based Education -Preparing for Teachers to Be that can Use Internet for Education, IGP: Idea Group Publishing, 2003
- 佐藤隆博. ISM 构造学习法入门. 东京:明治图书, 1996. 55~86
- Chung Ching-Jung. The Study of Applying Interpretive Structural Modeling in Structural Text Design. Department of Education Technology, Tamkang University, 2002
- Cohen L. Research methods in education. New York: McGraw-Hill, 2000
- ZHANG Xiao-bo, HAN Yong-guo, LIN Yong, et al. Study of Personalized Tutoring System Based on Agent. Application Research of Computers, 2006(10):64