

# 基于轮廓信息的人脸检测

李启娟, 李金屏

(济南大学 信息科学与工程学院 模式识别与智能系统研究所, 山东 济南 250022)

**摘 要:**针对彩色图像提出了一种基于肤色模型、脸部轮廓信息以及眼睛特征的人脸检测算法。采用基于 YCbCr 色彩空间的肤色分割模型,初步筛选人脸的候选区域;在此基础上进行边缘检测,获得人脸轮廓信息,并利用遗传算法拟合脸部的椭圆;在椭圆的水平方向根据眼睛的几何特征来检测“眼睛对”,再根据“三停五眼”来定位人脸,并利用左右对称性验证人脸。实验表明,该算法对于彩色图像的正面人脸检测具有良好的效果。

**关键词:**人脸检测;肤色模型;轮廓信息;遗传算法;眼睛对

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2008)09-0108-04

## Face Detection Based on Contour Information

LI Qi-juan, LI Jin-ping

(Institute of Pattern Recognition and Intelligent System, School of  
Information Science and Engineering, University of Jinan, Jinan 250022, China)

**Abstract:** One novel algorithm for face detection in color images is proposed, which is based on skin model, face contour information and geometric features of human eye. First of all, a special skin model related with YCbCr space is employed to locate candidate faces in color images containing faces. Then, contour information of human faces are computed by means of Sobel operator, and the match between ellipse template and face contour was optimized by GA in the edge energy field of face image. Thus if the ellipse corresponds to a real face would be determined by if an eye-pair exists in this ellipse. Finally, all regions of real faces could then be obtained according to the concept that a standard face could be partitioned equally into three parts vertically and five parts horizontally. Experiments show that this method achieves satisfactory performance in face location and detection.

**Key words:** face detection; skin model; contour information; GA; human eye-pair

## 0 引言

随着计算机技术和人工智能的发展,人的身份认证显得越来越重要。人脸是一个重要的身份特征,许多学者很早就开展了人脸的相关研究<sup>[1]</sup>。作为人脸识别重要组成部分的人脸检测受到了人们的极大关注<sup>[2,3]</sup>。

目前,人们已经提出了不少人脸检测的算法,大体上可以概括为基于知识<sup>[4]</sup>、基于结构特征<sup>[5]</sup>、基于模板匹配<sup>[6]</sup>以及基于统计模型<sup>[7]</sup>的方法等。在众多的人脸检测算法中,基于肤色模型的方法以其使用方便、实现简单、检测速度快等优点获得了广泛的应用<sup>[8~11]</sup>。基于肤色信息的人脸检测算法虽然具有稳定、相对简单、

速度快等特点,但是在背景可能存在大量类似肤色的物体时,仅利用肤色特征的人脸检测并不可靠,还需要利用人脸的其它特征进行验证<sup>[12~14]</sup>。

针对上述问题,提出了一种基于肤色分割、脸部轮廓(椭圆状)拟合和眼睛特征相结合的人脸检测方法。首先利用肤色模型对彩色图像进行分割,然后对检测出的肤色区域进行预处理,即在剔除较小的背景区域之后进行边缘检测。根据脸部的椭圆状轮廓,确定椭圆状区域并在其中搜索眼睛对,从而剔出非人脸区域;再利用“三停五眼<sup>[15]</sup>”的原则,最终准确地定位人脸区域。

## 1 肤色分割

在人脸图像的许多特征中,颜色是把皮肤从其它物体的背景中提取出来的有效特征之一。所以,建立合适的肤色模型是人脸检测的前提。人们已经提出了许多肤色检测模型,大多数是基于像素建立的。通常建立肤色模型时要考虑两方面内容:(1)应该选择哪一

收稿日期:2007-12-22

基金项目:山东省高校中青年学术骨干计划资助项目(G0204)

作者简介:李启娟(1982-),女(回族),山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为图像处理、模式识别;李金屏,教授,博士,研究方向为图像处理、模式识别、人工智能。

种颜色空间;(2)如何利用肤色分布来建立模型。

### 1.1 色彩空间

肤色是人脸的重要信息,利用肤色进行快速粗检测是人脸检测中的一项重要内容。目前常见的色彩空间有 RGB, HIS, TSL, HSV, YUV, YCrCb 等。文中使用 Rein-Lien Hsu<sup>[16]</sup>提出的基于 YCrCb 空间的加入亮度补偿的色彩空间<sup>[17]</sup>,该空间具有良好的离散性、与人视觉感知的同一性、亮度和色度分离以及肤色聚集区域的紧凑型等特点。YCrCb 与 RGB 的坐标转换矩阵为:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2990 & 0.5870 & 0.1140 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5000 \\ 0.5000 & -0.4187 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

### 1.2 肤色模型的建立

一般来说,在进行人脸检测的时候,YCrCb 空间中亮度和色度的分离度越大越好,但是在实际操作中色度值与亮度值之间总是存在着一定的非线性依赖关系,这种依赖关系很大程度上影响了图像的检测。所以对 YCrCb 空间进行了一次非线性变换,用来降低色度对亮度的依赖关系。经过非线性变换得到的色彩空间用 YCr'Cb' 来表示,变换公式如下:

$$C'_i(Y) = \begin{cases} C_i(Y) & \text{if } Y \in [K_l, K_h] \\ C_i(Y) - \bar{C}_i(Y) \frac{W_{c_i}}{W_{c_i}(Y) + \bar{C}_i(K_h)} & \text{if } Y < K_l \text{ or } Y > K_h \end{cases} \quad (2)$$

其中, $i$  代表  $b$  或  $r$ ,  $\bar{C}_i(Y)$  表示肤色区域的中轴线,  $K_l$  和  $K_h$  是非线性分段彩色变换的分段阈值,  $W_{c_i}(Y)$  表示肤色区域的宽度,从 YCrCb 坐标空间到 YCr'Cb' 坐标空间的变换过程推导公式参考文献<sup>[18]</sup>。

在人脸建模时用到的是 YCr'Cb' 空间的色度信息,实现人脸肤色建模的公式为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C'_b - C_x \\ C'_r - C_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\frac{(x - e_{cx})^2}{a^2} + \frac{(y - e_{cy})^2}{b^2} = 1 \quad (4)$$

可以看出,该模型是椭圆模型,  $C_x = 114.38$ ,  $C_y = 160.02$ ,  $\theta = 2.53$ (弧度),  $e_{cx} = 1.60$ ,  $e_{cy} = 2.41$ ,长轴  $a = 25.39$ ,短轴  $b = 14.03$ 。

### 1.3 肤色区域分割及预处理

通过以上建立的肤色模型可以针对图像中的每一个像素点,将其  $Cb'$ ,  $Cr'$  代入式(3),求得  $x, y$ , 再代入

式(4)。若式(4)左边值与 1.0 之差的绝对值小于预先设定的门限值,则判定该点为肤色,否则不是肤色。

至此,通过肤色模型可以检测出图像中的肤色区域,从而将一幅彩色图像转化为二值图像,其中 0, 1 分别表示非肤色区域和肤色区域。图 1(b)所示是用以上建立的肤色模型进行肤色分割后的实验结果,其中上面的图像由于下巴有阴影所以检测的结果中头部和脖子是断开的。从图 1(b)中可以看到,由于噪声的影响,通过肤色模型分割后的图像中存在一些孤立的小块,这些孤立的小块不可能是人脸区域,同时在人脸区域也存在漏检的小区域,因此需要对图像进行预处理,除去孤立的小块并使人脸成为连通区域。

在此先采用形态学的闭运算,然后进行开运算,其结果如图 1(c)所示。可以看出,经过肤色分割的图像在进行预处理后,人脸所在的连通区域具有很好的脸部轮廓且包含很好的眼睛区域,因此可以利用该信息进行精确的人脸检测。

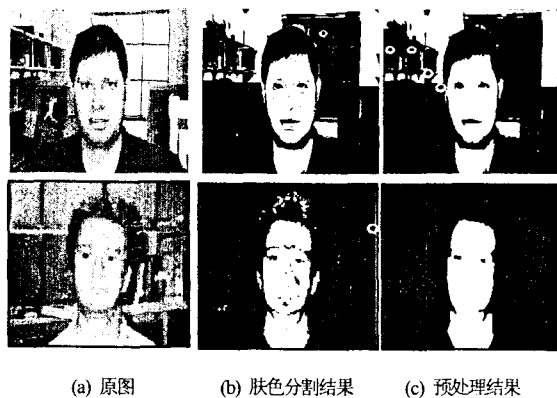


图 1 肤色检测结果

## 2 人脸的精确定位

经过肤色分割后,虽然得到了人脸的初步候选区域,但在实际的应用中也可能存在一些大的类肤色区域,如人的脖子、手和肩膀等,所以需要对分割后的图像进行进一步的处理。从图 1(c)可见,脸部区域类似椭圆状,且眼睛在此椭圆的区域里,因而可以根据此信息进行人脸的精确定位。

### 2.1 根据遗传算法拟合脸部轮廓形状

人脸具有丰富的轮廓信息,即基本呈椭圆状,并且眼睛在脸上半部分一个确定的椭圆内。为更精确、快速地定位眼睛,通过在肤色分割图像中检测近似椭圆状的区域来定位人脸的区域,则类椭圆状的区域即为可选脸部区域,否则为非人脸区域不再考虑。

为更好地提取脸部轮廓信息,需要对肤色分割后的图像进行边缘检测,此处采用 Sobel 边缘检测算子。针对图 1(c)的边缘检测结果如图 2 所示。

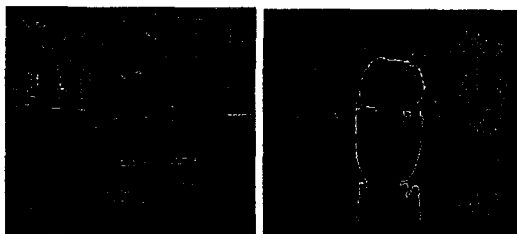


图 2 边缘检测结果

从边缘检测后的图像可以看到,对于连通的区域边缘信息也是连通的。因此,可以在每一个连通区域里面找到一个圆,并且由于人脸都是在区域的上部,所以在拟合椭圆时,只从每个连通区域的上部开始扫描,确定每个连通区域的椭圆。

### 2.1.1 参数化可变形椭圆模板

根据人脸轮廓形状的特点,使用参数化可变形椭圆模板作为人脸轮廓模型。该椭圆模板由 5 个参数:椭圆中心  $(x_c, y_c)$ 、长短轴  $a, b$  和倾斜角  $\theta$  确定,可用下面的椭圆方程描述:

$$\begin{aligned} \phi(x_c, y_c, a, b, \theta) = & \left[ \frac{(x - x_c)\cos\theta + (y - y_c)\sin\theta}{a} \right]^2 + \\ & \left[ \frac{(x - x_c)\sin\theta + (y - y_c)\cos\theta}{b} \right]^2 \end{aligned} \quad (5)$$

模板上所有点  $(x, y) \in \phi(x_c, y_c, a, b, \theta)$ , 变化  $(x_c, y_c, a, b, \theta)$  将产生新的椭圆模板。利用人脸轮廓椭圆特征的人脸定位系统,就变成了对于椭圆模板  $(x_c, y_c, a, b, \theta)$  参数的最优化匹配问题,于是在 GA 中将这 5 参数编码作为种群中的个体,不同的参数对应不同的个体,每位个体对于不同的椭圆模板。计算不同个体的适应值就得到对这轮匹配结果的评价。

### 2.1.2 GA 编码

GA 可以有二进制、自然数和浮点数等多种不同的编码方法。本算法将选用最常用的二进制编码。对  $(x_c, y_c, a, b, \theta)$  分别用 8 bit 二进制字符串表示,这样每条染色体就是一个 40 bit 的二进制字符串。

### 2.1.3 适应度函数

GA 应用于实际问题时,适应度函数(Fitness function)的定义往往最为困难,而且其计算复杂程度对于整个 GA 的搜索时间有较大影响。在该人脸定位的应用中为减小计算量,定义如下的适应度函数:

$$\text{Fit}(x_c, y_c, a, b, \theta) = \begin{cases} \sum_{\theta=90^\circ} e(x, y) \times 2 \times p_c, & \theta = 90^\circ \\ \sum_{\theta=90^\circ} e(x, y) \\ | \theta - 90^\circ | \times p_c, & \theta \neq 90^\circ \end{cases} \quad (6)$$

上式中  $(x, y) \in \phi(x_c, y_c, a, b, \theta)$ ;  $p_c$  为椭圆周

长,即位于椭圆圆周上的边缘点的个数; $e(x, y)$  为位于椭圆圆周上的边缘点的灰度值。

在实际人脸图像中人脸图像不会是标准的椭圆,文中将  $\phi(x_c, y_c, a, b, \theta)$  由标准椭圆变化为一椭圆环,即:

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{(x - x_c)\cos\theta + (y - y_c)\sin\theta}{a} \right]^2 + \\ & \left[ \frac{(x - x_c)\sin\theta + (y - y_c)\cos\theta}{b} \right]^2 - 1 < \tau \end{aligned} \quad (7)$$

试验中  $\tau$  值取 0.05。

利用 GA 拟合椭圆的结果如图 3 所示,其中图像上部连续的区域,由于其区域太大,故没有检测到椭圆;下部即人的脖子区域,由于检测的椭圆超出了图像的范围,所以放弃;同时对于非常小的闭合区域,得到的椭圆也非常小,也排除这类椭圆。从实验结果可以看出,一些背景中的类似肤色的连通区域以及完全不像人脸形状的肤色区域已经被排除。但是一些不是人脸的肤色区域因为具有类似的椭圆状,也可能被保留,如图 3 右边的小区域,所以经过这一步的检测,仍然需要通过对脸部特征的提取如眼睛的特征,对得到的候选区域进行验证。



图 3 检测的椭圆

### 2.2 眼睛的定位

从图 3 可以看到,眼睛包含在检测获得的椭圆区域里,所以下一步就是在此椭圆区域里面精确定位眼睛,从而提高检测精度。另外从图 1(c)可以看到,图像中含有很清晰的眼睛区域,所以根据眼睛的几何特性,如对称性、连通区域的面积(眼睛的面积占整幅图像的比例)、像素总数的比例(眼睛区域的像素数占眼睛区域面积的比例)、连通区域的形状(人眼睛呈矩形)等,可以在圆形区域水平位置的一定范围内(参照“三停五眼”),利用图 1(c)的结果,找到具有对称关系的眼睛对,并精确定位眼睛。根据眼睛的位置也可以得到嘴的位置。

### 2.3 人脸的定位

至此,精确的人脸区域定位流程如下:

(1) 根据两个眼睛的中心距离得到眼睛的宽度,然后根据“三停五眼”的“五眼”来确定人脸的宽度。

(2) 根据眼睛连线的中点和嘴的中心位置的距离,利用“三停五眼”的三停来确定人脸高度。

(3) 为了消除可能的人脸区域,使得人脸检测更加精确,采用人脸的对称性进行最后的人脸验证。由于左半脸和右半脸具有对称性,所以它们之间的边缘信息差别很小。对称性度量如下:

$$T_s = \frac{1}{m \times n} \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^{n/2} |f(i, j) - f(n-i, j)| \quad (8)$$

其中,  $m, n$  分别表示候选人脸区域的高和宽,  $f(i, j)$  代表候选人脸。如果  $T_s$  的值小于阈值,候选人脸就认为是真正的人脸。

### 3 实验结果分析

为了验证该算法,选用了 500 张测试图像,其中 450 张单人图像来自于网络人脸数据库(在不同光照下的各种姿态的正面人脸图像),50 张来自于视频采集的图像,其中很多是复杂背景和光照下的多人图像。对于人脸数据库的图像大小为  $896 \times 592$ ,人脸检测的正确率为 91.9%,错误检测率为 1.9%,漏检率为 6.2%;对于视频采集的图像大小为  $768 \times 576$ ,其正确的检测率为 94%,错误的检测率为 2%,漏检率为 4%。部分有代表性的图像检测结果如图 4 所示。



图 4 部分检测结果

图 4(a~f)图像是网络图像库的图像,从(a~d)可以看出对于数据库中人脸图像,尽管背景很复杂但是检测的效果还是非常好的。错误的例子如图 4e,因为把眉毛误认为人眼睛,所以检测结果出现偏差(即得到

的人脸区域比实际的人脸区域偏上);漏检的例子如图 4f,主要是光照不均导致了阴阳脸,或人脸整体逆光,使得在肤色检测时,得不到很好的人脸区域,所以出现漏检现象。

图 4(g~i)所示是视频采集图像的例子,其中图 4h 包括多人脸,其结果还是不错的;图 4i 人脸由于脸部的旋转角度过大,眼睛没有被检测出来,故产生漏检。所以在光照条件不佳时该算法的效果可能较差。

总之,该方法在正面端正的人脸的检测时,效果还是很好的。

### 4 结束语

提出了一种基于肤色模型、脸部轮廓形状和眼睛特征的人脸检测算法。采用基于 YCbCr 色彩空间的肤色分割模型,初步检测人脸的候选区域,切割出各个候选区域并二值化,使用形态学的闭和开运算来去除噪声的影响;接着进行边缘检测,利用遗传算法来拟合脸部的椭圆形;然后在椭圆区域的水平方向根据眼睛的几何特征、对称性、相距性等肤色分割后图像中的相应位置来检测“眼睛对”,最后根据“三停五眼”来定位人脸,同时利用人脸的左右对称性来验证人脸的正确性。

由于综合了人脸的肤色和脸部轮廓形状以及眼睛的特征进行人脸的检测和判断,极大提高了人脸检测的正确率,降低了误判率。利用在脸部椭圆区域里找“眼睛对”不仅提高了检测的速度,而且可以有效去除非人脸区域的影响。此外,该工作为下一步研究的基于视频的人脸检测、识别及其跟踪提供了方法基础。

### 参考文献:

- [1] 石跃祥,蔡自兴,王学武,等.基于改进的 PCA 算法和 Fisher 线性判别的人脸识别技术[J]. 小型微型计算机系统, 2006,27(9):1731-1736.
- [2] Yin Jian-qin, Li Jin-ping, Li Yue-long. Face Recognition by Using Generalized RBF Neural Networks[C]//In Proc. IEEE Conf. Sensing, Computing and Automation. Chongqing, China:[s. n.], 2006:3055-3059.
- [3] 李金屏,韩延彬,杨清波,等.人脸识别新技术研究进展[J]. 计算机科学,2004,31(10A):293-295.
- [4] 李武军,钟翔平,李 宁,等.一种快速而精确的多人脸检测与定位算法[J]. 小型微型计算机系统,2005,26(9):1520-1524.
- [5] 王学武,石跃祥.基于眼睛特征的人脸检测方法[J]. 计算机应用研究,2006(1):239-240.
- [6] Govindaraju V. Locating Human Faces in Photographs[J].

(下转第 118 页)

测非正常的程序行为以阻止钓鱼攻击。

#### 4 结束语

目前,“网络钓鱼”的发展趋势呈现三个方面特点,即多种手段结合、隐蔽性、多样性。多种手段结合是指“网络钓鱼”由单纯的社会工程学的欺骗演变为综合了黑客技术、漏洞注入、脚本欺骗等手段的网络犯罪行为。隐蔽性是指利用各种黑客技术,使“网络钓鱼”行为更加隐蔽,用户更加难以察觉。多样性是指“网络钓鱼”的目标由单一的网络银行转化为各种在线销售系统、电子商务网站及股票交易等在线系统。随着网络钓鱼的手段不断翻新,只有将各种防御方法相结合,才能更加有效地防止在线身份窃取。

#### 参考文献:

- [1] CNCERT/CC2007 年上半年网络安全工作报告[EB/OL]. 2007. <http://www.cert.org.cn/articles/docs/common/2007082123431.shtml>.
  - [2] 杜跃进. 在线身份窃取攻击[J]. 网络安全技术与应用, 2005, 8: 7-9.
  - [3] Phishing Activity Trends Report for the Month of June, 2007 [EB/OL]. 2007-06. <http://www.antiphishing.org/>.
  - [4] Ren Qiong, Mu Yi, Susilo W. SEFAP: An Email System for Anti-Phishing[C]//Proceedings of the 6th IEEE/ACIS International Conf. on Computer and Information Science. Australia: IEEE Press, 2007: 782-787.
  - [5] Inomata A. A Novel Mail Filtering Method Against Phishing [C]//Pacific Rim Conf. on Communications, Computers and signal. [s. l.]: IEEE Press, 2005: 221-224.
  - [6] Chen Juan, Guo Chuanxiang. Online Detection and Prevention of Phishing [C]//Proceedings of the first International Conf. on Communications and Networking. China: IEEE Press, 2006: 1-7.
  - [7] Liu Wenyin. An antiphishing strategy based on visual similarity assessment[J]. Internet Computing, 2006, 10(2): 58-65.
  - [8] Fu A Y. Detecting Phishing Web Pages with Visual Similarity Assessment Based on Earth Mover's [J]. IEEE Trans. on Dependable and Secure Computing, 2006, 3(4): 301-311.
  - [9] Kirda E, Kruegel C. Protecting users against phishing attacks with AntiPhish[C]//Proceedings of 29th Annual International Conf. on Computer Software and Applications. [s. l.]: IEEE Press, 2005: 517-524.
  - [10] Raffetseder T. Building Anti-Phishing Browser Plug-Ins: An Experience Report [C]//Proceedings of the 3rd International Workshop on Software Engineering for Secure Systems (SESS'07). Austria: [s. n.], 2007: 1-7.
  - [11] EarthLink. ScamBlocker[CP/OL]. 2004-07. <http://www.earthlink.net/software/free/toolbar/>.
  - [12] PhishGuard.com. Protect Against Internet Phishing Scams [CP/OL]. 2003-01. <http://www.phishguard.com/>.
  - [13] Netcraft. Netcraft toolbar[CP/OL]. 2004-07. <http://toolbar.netcraft.com/>.
  - [14] Google Safe Browsing for Firefox [CP/OL]. 2005-10. <http://www.google.com/tools/firefox/safebrowsing/>.
  - [15] Tan Chik How, Teo Joseph Chee Ming. Protection Against Web-based Password Phishing [C]//International Conference on Information Technology (ITNG'07). [s. l.]: IEEE Press, 2007: 754-759.
- 
- (上接第 111 页)
- Computer Vision, 1996, 19(2): 129-146.
  - [7] 邓亚峰, 苏光大, 傅博. 一种基于 AdaBoost 的快速动态人脸检测算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(11): 222-224.
  - [8] Yin Jian-qin, Li Jin-ping, Han Yan-bin, et al. A New Color-Based Face Detection and Location Method by Using Support Vector Machine[C]//In Proc. IEEE Conf. Control, Automation, Robotics & Vision. Kunming, China: [s. n.], 2004: 838-841.
  - [9] Han Yan-bin, Liu Ming-jun, Li Jin-ping. Face Detection and Location Based on Skin-color Modeling and Geometrical Features[J]. Computer Science, 2006, 33(s): 311-313.
  - [10] 陈锻生, 刘政凯. 肤色检测技术综述[J]. 计算机学报, 2006, 29(2): 194-207.
  - [11] 李士进, 朱跃龙, 王志坚. 基于多分类器组合的多角度彩色人脸图像检测[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(8): 1506-1509.
  - [12] 李国辉, 梅魁志, 袁泽剑. 基于肤色模型和贝叶斯判别的人脸检测[J]. 计算机应用, 2006, 26(8): 1854-1857.
  - [13] 艾海舟, 梁路宏, 徐光祐, 等. 基于肤色和模板的人脸检测[J]. 软件学报, 2001, 12(12): 1784-1792.
  - [14] 王文宁, 王汇源, 常新华. 一种新的基于对称特征的彩色人脸定位方法[J]. 计算机工程与科学, 2006, 28(10): 54-56.
  - [15] 陈启泉, 邱文字, 陈维斌. 标准正面人脸图像的特征提取[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2000, 21(4): 413-418.
  - [16] Hsu R L. Face Detection in Color Images[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 696-706.
  - [17] 吕东辉, 王滨. YCbCr 空间中一种基于贝叶斯判决的肤色检测方法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(1): 47-52.
  - [18] 刘洁, 张汉灵. 一种新的基于肤色模型的人脸检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2006(11): 70-72.