

基于CbCgCr椭球体似然平滑度的肤色分割

杨庆华¹, 李薇², 刘万钱³, 李艳梅², 罗建²

(1. 川北医学院医学影像学系, 四川南充 637000; 2. 西华师范大学计算机学院, 四川南充 637000;
3. 重庆大学生物流变科学与技术教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 对于有色偏、高光和阴影的复杂背景彩色人脸图像, 已有模型不能获得较理想的分割结果。为此, 提出一种基于CbCgCr椭球体肤色似然平滑度的肤色分割算法。预处理人脸输入图, 以消除色偏、高光和阴影, 建立CbCgCr椭球体肤色模型, 计算肤色似然平滑度, 利用肤色似然平滑度粗分割肤色区域, 并对其进行去噪处理, 以获得肤色细分割图和细提取图。实验结果表明, 对光照不均和背景复杂的人脸彩色图像, 该算法的肤色分割准确性、鲁棒性和实时性较优。

关键词: 生物特征; 模式识别; 肤色分割; 似然; 平滑度; 椭球体模型

Skin Color Segmentation Based on CbCgCr Ellipsoid Likelihood Smoothness

YANG Qing-hua¹, LI Wei², LIU Wan-qian³, LI Yan-mei², LUO Jian²

(1. Department of Medical Imaging, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, China;

2. College of Computer Science, China West Normal University, Nanchong 637000, China;

3. Key Laboratory of Biorheological Science and Technology, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

【Abstract】 For complex background color face image with color bias, high light and shadow, existing model cannot get satisfactory segmentation results. In order to solve this problem, this paper presents a skin color segmentation algorithm based on CbCgCr ellipsoid likelihood smoothness. This paper segments the skin region using smoothness of CbCgCr ellipsoid skin likelihood. It preprocesses the facial input image for eliminating the color bias, high light and shadow, calculates the smoothness of skin color likelihood of facial input image after processing by building on CbCgCr ellipsoid skin color model, and then roughly segments the skin region by using the smoothness of skin color likelihood, removes the noise of skin color coarse segmentation image and gets the skin color fine segmented image and fine extracted image. Experimental results show that the algorithm has good results and robustness of skin color segmentation for color facial image with unequal illumination and complex background.

【Key words】 biological feature; pattern recognition; skin color segmentation; likelihood; smoothness; ellipsoid model

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.18.041

1 概述

人脸识别是众所周知的模式识别问题之一, 针对安检、身份识别等领域的各种应用需求, 使得人脸识别成为近年研究热点。肤色的较好聚类特性使其成为人脸检测和特征提取的重要工具之一。在基于肤色的人脸识别流程中, 肤色的分割是关键环节。通常的聚类模型采用基于统计的不完全精确颜色分量值范围限定方法^[1], 一些学者将亮度分类并建立查找表^[2], 也有人建立CbCr或CgCr高斯肤色模型进行肤色分割, 或者基于双肤色模型进行分割^[3-4]。文献[5-7]用椭圆肤色模型进行处理, 并不能适合某些类型的图像。尤其是对于含有色偏、高光和阴影的复杂背景彩色图像, 简单的聚类模型^[1-2]、单纯的高斯^[3-4]或

椭圆肤色模型^[5-7]并不能获得较理想的分割效果。考虑到这些问题, 本文提出一种肤色区域分割算法, 利用色调、饱和度和亮度(Tint, Saturation, and Luminance, TSL)等多种颜色分量进行消除色偏、高光和阴影的预处理, 设计CbCgCr椭球体肤色模型, 并通过肤色似然度及其平滑度实现肤色粗分割, 利用形态学实现去噪及肤色细分割。

2 肤色分割算法

肤色分割算法的主要步骤如下:

- (1)输入待处理的人脸图像。
- (2)针对输入的人脸图像, 进行消除色偏、高光和阴影的预处理。
- (3)针对预处理后的人脸图像, 建立CbCgCr椭球体肤

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(10902130); 四川省教育厅自然科学基金资助项目(09ZC014); 四川省教育厅自然科学基金青年基金资助项目(09ZB091)

作者简介: 杨庆华(1977—), 男, 讲师、硕士, 主研方向: 模式识别, 图像处理; 李薇, 讲师、硕士; 刘万钱, 副教授、博士; 李艳梅, 讲师、博士研究生; 罗建, 讲师、硕士

收稿日期: 2011-10-18 **修回日期:** 2012-01-30 **E-mail:** forbyyoung@126.com

色模型, 计算椭球体肤色似然度, 并且利用 CbCgCr 椭球体肤色似然度及其邻域平滑特性, 计算椭球体似然平滑度, 获得椭球体似然平滑度图。

(4) 利用椭球体似然平滑度, 进行肤色区域粗分割, 获得肤色粗分割图。

(5) 针对肤色粗分割图, 利用邻域模板, 进行去噪的后处理, 获得肤色细分割图和细提取图。

肤色分割算法流程如图 1 所示。

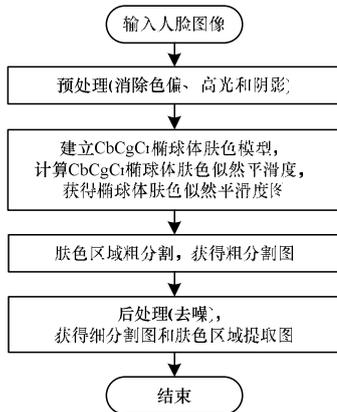


图 1 肤色分割算法流程

3 图像预处理

由于光线不均、环境设备和复杂背景的影响, 因此人脸输入图像通常可能存在色偏、高光和阴影现象。为尽可能降低上述因素的消极影响, 进一步改善输入图像质量, 以便提高分割精确度。该文采用预处理主要包含色偏消除、高光和阴影改善 2 个部分。预处理具体步骤如下:

(1) 色偏消除

1) 获得人脸输入图的 R 、 G 、 B 分量。

2) 分别累加人脸输入图的 R 、 G 、 B 分量, 获得三分量各自的总和 R_s 、 G_s 、 B_s 。

3) 利用下式计算色偏调整系数 R_s 、 G_s 、 B_s :

$$R_c = G_s / R_s, B_c = G_s / B_s, G_c = G_s / G_s \quad (1)$$

4) 利用色偏调整系数调整人脸输入图的 R 、 G 、 B 分量。

调整公式如下:

$$R' = R \times R_c, B' = B \times B_c, G' = G \times G_c \quad (2)$$

$$\begin{cases} R' = 255 & \text{if } R' > 255 \\ B' = 255 & \text{if } B' > 255 \\ G' = 255 & \text{if } G' > 255 \end{cases} \quad (3)$$

5) 计算经第 4) 步调整后的 R' 、 G' 、 B' 分量各自的最大值和最小值 R'_{\max} 、 R'_{\min} 、 B'_{\max} 、 B'_{\min} 、 G'_{\max} 、 G'_{\min} , 并且将 R' 、 G' 、 B' 归一化到 [0 255] 范围。归一化公式为:

$$R' = \begin{cases} 0 & \text{if } (R'_{\max} - R'_{\min}) \leq 0 \\ 255 \times (R' - R'_{\min}) / (R'_{\max} - R'_{\min}) & \text{else} \end{cases}$$

$$B' = \begin{cases} 0 & \text{if } (B'_{\max} - B'_{\min}) \leq 0 \\ 255 \times (B' - B'_{\min}) / (B'_{\max} - B'_{\min}) & \text{else} \end{cases}$$

$$G' = \begin{cases} 0 & \text{if } (G'_{\max} - G'_{\min}) \leq 0 \\ 255 \times (G' - G'_{\min}) / (G'_{\max} - G'_{\min}) & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

计算经第 5) 步归一化后的 R' 、 G' 、 B' 所有分量的最大值 RGB_{\max} 。

利用最大值 RGB_{\max} 再次归一化 R' 、 G' 、 B' 分量到 [0 255] 范围。调整公式如下:

$$\begin{cases} R'' = 255 \times R' / RGB_{\max} \\ B'' = 255 \times B' / RGB_{\max} \\ G'' = 255 \times G' / RGB_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

(2) 高光和阴影改善

获得色偏消除后人脸输入图 R'' 、 G'' 、 B'' 分量。

计算 T 、 S 、 L 分量值, 计算公式如下:

$$r = \frac{R''}{(R'' + G'' + B'')} - \frac{1}{3}, g = \frac{G''}{(R'' + G'' + B'')} - \frac{1}{3}$$

$$T = \begin{cases} \arctan(r/g) / 2\pi + 1/4 & g > 0 \\ \arctan(r/g) / 2\pi + 3/4 & g < 0 \\ 0 & g = 0 \end{cases}$$

$$S = \sqrt{1.8 \times (r^2 + g^2)}$$

$$L = 0.299 \times R'' + 0.587 \times G'' + 0.114 \times B'' \quad (6)$$

获得色偏消除后人脸输入图 Cb 、 Cg 、 Cr 分量。

利用 T 、 S 、 L 分量调整 Cb 、 Cg 、 Cr 分量值。调整公式如下:

$$\begin{cases} Cb' = Cb \times \exp(S + T - L) \\ Cg' = Cg \times \exp(S + T - L) \\ Cr' = Cr \times \exp(S + T - L) \end{cases} \quad (7)$$

利用 Cb' 、 Cg' 、 Cr' 调整色偏消除后人脸输入图的 R'' 、 G'' 、 B'' 分量。调整公式如下:

$$B''' = \sqrt{B'' \times Cb'}, G''' = \sqrt{G'' \times Cg'}, R''' = \sqrt{R'' \times Cr'} \quad (8)$$

人脸视频输入图预处理前后效果如图 2 所示。



图 2 人脸视频输入图预处理前后效果

图 2(a) 和图 2(d) 分别为带红色色偏和带蓝色色偏的人脸输入图, 经色偏消除处理后, 均消除了色偏影响 (见图 2(b) 和图 2(e)), 经高光和阴影改善处理后, 极大降低了高光和阴影消极影响, 均衡人脸和背景的光线 (见图 2(c) 和图 2(f))。对比可知, 经过预处理后的人脸输入图具有更好的质量, 受色偏、高光和阴影的干扰更小、色彩更均匀, 肤色和背景区别更明显、更便于后续肤色分割处理。

4 肤色粗分割

在基于肤色聚类分布进行肤色分割时, 常建立肤色模型, 以便分割。目前常见肤色模型主要有高斯^[1]、椭圆^[2]等模型, 对于复杂背景和光线不均的人脸图像分割, 这些

模型仍有其局限性。通过对采集的肤色样本分析发现, 在三维 CbCrCg 颜色空间中, 肤色分布具有较好的紧致性和稳定性, CbCrCg 颜色空间的肤色聚类分布如图 3 所示。

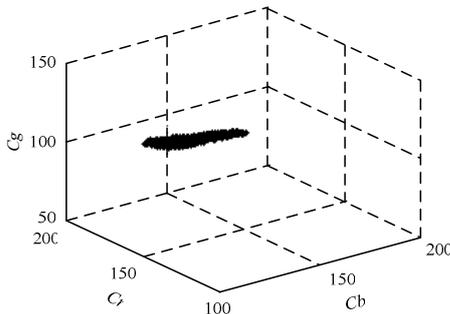


图 3 CbCrCg 颜色空间的肤色聚类分布

由此建立的三维 CbCrCg 椭球体肤色模型具有较好的自适应性和抗干扰能力, 基于该肤色模型, 结合 CbCrCg 似然度及其邻域平滑特性, 计算肤色似然度的平滑度, 然后进行肤色分割, 更适合处理复杂背景, 以及具有色偏、高光和阴影的人脸图像^[8]。肤色粗分割步骤如下:

(1)按下式获取预处理人脸图 Cb、Cg、Cr 分量:

$$\begin{bmatrix} Cr'' \\ Cb'' \\ Cg'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 128 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.500 & -0.4187 & -0.0813 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.500 \\ -0.316 & 0.500 & -0.184 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R'' \\ G'' \\ B'' \end{bmatrix} \quad (9)$$

(2)建立 CbCrCg 椭球体肤色模型。计算 CbCrCg 椭球体肤色似然度 $L_{i,j}$ 。计算公式如下:

$$L_{i,j} = \frac{(Cb''-110)^2}{40^2} + \frac{(Cr''-160)^2}{60^2} + \frac{(Cg''-115)^2}{35^2} \quad (10)$$

其中, i, j 表示图像像素点的横纵坐标。

(3)利用椭球体肤色似然度 $L_{i,j}$, 以及似然度 9×9 邻域平滑计数值 ph , 计算 CbCrCg 椭球体肤色似然平滑度 $P_{i,j}$, 利用似然平滑度 $P_{i,j}$ 获得椭球体肤色似然平滑度图。计算公式如下:

$$ph = ph + 1 \quad \text{if } L_{i,j} \leq 0.3 \quad \text{and } L_{i+m,j+n} - L_{i,j} \leq 0.1$$

$$P_{i,j} = \begin{cases} L_{i,j} \times \left(1 + \sum_{n=1}^9 \sum_{m=1}^9 (L_{i+m,j+n} - L_{i,j}) / 80 \right) & \text{if } ph \geq 20 \\ 1 & \text{else} \end{cases}$$

$$Bp = Gp = Rp = 255 \times P_{i,j} \quad (11)$$

其中, i, j 表示图像像素点的横纵坐标; m, n 分别表示横纵坐标偏移 ($0 \leq n \leq 9, 0 \leq m \leq 9$); Bp, Gp, Rp 分别为似然平滑度图三颜色分量。

(4)如式(12)所示, 通过限制 CbCrCg 椭球体似然平滑度, 获得粗分割图。

$$Bg = Gg = Rg = \begin{cases} 255 & \text{if } P_{i,j} < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (12)$$

肤色分割实验过程及结果如图 4、图 5 所示, 预处理前后图如图 4(a)和图 4(b)所示。由 2 幅图对比可知, 预处理改善了图像的质量, 尤其是色偏、光照和阴影消极影响。基于 CbCr 高斯模型的肤色似然度图、基于 CbCr 椭圆模型的肤色似然度图和基于本文 CbCrCg 椭球体模型的肤色似然度分别如图 4(c)~图 4(e)所示。对比可知, CbCrCg 椭

球体肤色似然度值(似然度越小、肤色概率越大)比前 2 种似然度能更好地体现肤色区域的聚类特性。基于 CbCrCg 椭球体模型的肤色似然平滑度图如图 4(f)所示。由于进一步结合了椭球体肤色似然度值和似然度的邻域平滑特性, 椭球体肤色似然平滑度图更能体现真实肤色区域的聚类特性, 更便于后续分割处理。基于高斯肤色模型似然度、基于椭圆肤色模型似然度、基于本文椭球体肤色模型似然平滑度进行的分割结果分别如图 4(g)、图 5(a)、图 5(b)所示。对比可知, 基于 CbCrCg 椭球体肤色模型似然平滑度的分割图分割准确性更高, 因光照、复杂背景引起的误分割更少。



图 4 肤色分割实验过程及结果 1

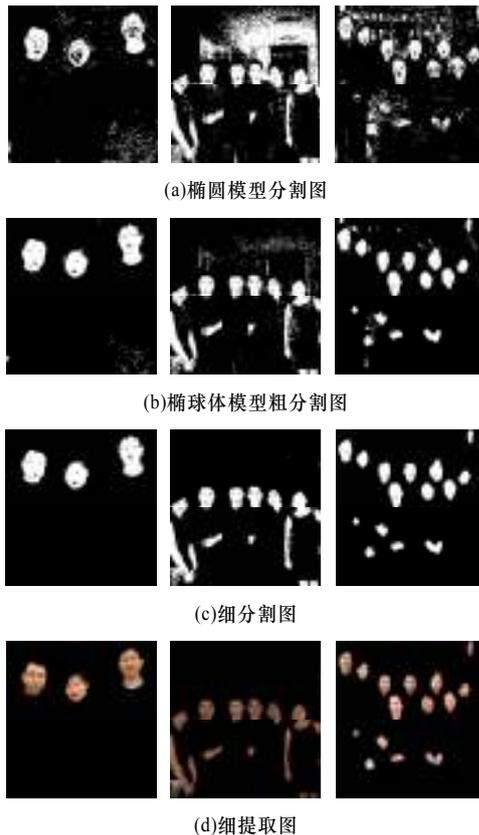


图5 肤色分割实验过程及结果2

5 去噪方法

对光照不均、背景复杂的质量较差图像,在经粗分割后的肤色分割图中,可能仍存在小区域噪声或点噪声,如图5(b)所示。因此,可进一步采用 5×5 邻域去噪处理,进一步消除肤色和非肤色区域中的噪声,获得细分割图。去噪后的肤色细分割图如图5(c)所示。对比图5(b)可知,经过去噪处理后可获得更精准的真实肤色区域。

6 实验结果与分析

笔者在构建的变化光照和复杂背景测试集(100幅单人脸与100幅多人脸照片)上,对该文肤色分割算法进行实验。实验环境为:P4 2.10 GHz CPU, 2 GB内存,操作系统为WinXP,在Microsoft Visual C++6.0平台上编程实现。实验样本结果如图4、图5所示。针对2类测试集照片,本文分割算法和基于高斯模型、椭圆模型的有效分割率比较如表1所示。

表1 本文算法与其他算法的有效分割率比较 (%)

| 算法 | 有效分割率 | |
|------|------------|------------|
| | 变化光照(100幅) | 复杂背景(100幅) |
| 高斯模型 | 25.0 | 12.5 |
| 椭圆模型 | 39.5 | 37.5 |
| 本文算法 | 91.7 | 90.0 |

由表1可知,该文肤色提取算法对于有较复杂背景、高光和阴影的较差质量人脸输入图像,可获得较好的分割效果,相对基于高斯模型和基于椭圆模型的分割算法,该算法有效分割率更高,抗光照和背景干扰能力更强。

3种肤色模型的平均分割精确度比较如表2所示,由表2可知,算法采用归一化缩放策略,可处理达400万像素图像,通过对分割目标和标准目标的对比分析和统计知,各肤色区域目标的平均分割精确度达95%以上。

表2 3种肤色模型的平均分割精确度比较

| 肤色模型 | 目标平均分割精确度/(%) | 肤色区域目标数 |
|------|---------------|---------|
| 高斯 | 54.7 | 500 |
| 椭圆 | 65.2 | 500 |
| 椭球体 | 95.3 | 500 |

通过实时分析内存占有量可知,程序内存占有量为3.04 MB~5.22 MB,通过循环内并行提速等处理,算法平均耗时47 ms~70 ms(帧率14 f/s~21 f/s),具有较好的实时性。

7 结束语

该文建立CbCgCr椭球体肤色模型,提出一种基于该模型的肤色似然平滑度肤色分割算法。采用预处理消除色偏、高光和阴影影响,改善待分割人脸输入图像的质量。建立具有较好自适应性和抗干扰性的CbCgCr椭球体肤色模型,并计算肤色似然度。利用CbCgCr椭球体肤色似然度及其邻域平滑特性,计算椭球体肤色似然平滑度,消除光照和复杂背景造成的伪肤色区域,得到真实肤色区域目标。使用形态学去噪,进一步消除肤色区和非肤色区噪声点,提高分割精确度和效果。实验结果表明,该算法提高了人脸图像肤色分割精确度。今后将研究在分割的肤色区域中定位人脸目标,并获取眼、鼻、嘴等人脸特征,以便进行人脸识别处理。

参考文献

- [1] 张立刚,何东健. 基于肤色模型和区域特征的人脸检测方法[J]. 计算机工程, 2008, 34(19): 209-211.
- [2] 丁友东,杜晓凤,李晓强. 基于聚类肤色模型的人脸检测[J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2007, 13(5): 511-515.
- [3] 者 昊,马若飞,马义德. 基于高斯模型的人脸检测算法[J]. 微计算机信息, 2010, 26(5): 64-67.
- [4] 张争珍,石跃祥. YCgCr 颜色空间的肤色聚类人脸检测法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(22): 163-165.
- [5] Hsu R L, Abdel M M, Jain A K. Face Detection in Color Images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 696-706.
- [6] Lee J Y, Yoo S I. An Elliptical Boundary Model for Skin Color Detection[C]//Proc. of International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology. Las Vegas, USA: [s. n.], 2002.
- [7] Zhang Dazhi, Wu Boying, Sun Jiebao, et al. A Face Detection Method Based on Skin Color Model[C]//Proc. of the 11th Joint Conference on Information Science. Paris, France: Atlantis Press, 2008.
- [8] 汤连春,李海燕,陈建华. 基于局部特征的人脸检测与提取[J]. 计算机工程, 2008, 34(10): 210-211, 214.

编辑 刘 冰

