

基于新颜色空间 YCgCr 的人脸区域初定位^{*}

王建国^{1,2} 林宇生¹ 杨静宇¹

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

摘要 在 RGB 颜色空间采用了颜色平衡方法对发生色彩偏移的输入图像进行颜色校正;在新颜色空间 YCgCr 上建立了亮度和 Cg-Cr 色度查找表联合的肤色模型,对肤色区域进行检测;引入了有效的预处理技术,进一步去除肤色分割后的二值图像中的部分非人脸区域,减少人脸定位的搜索区域。最后在两个图像测试集上进行了实验比较,实验结果表明,该肤色模型可以有效地从复杂背景的彩色图像中检测出肤色区域,光照条件适应性好,且引入的预处理技术在保证漏检率低的前提下,能够去除大部分非人脸区域。

关键词 肤色检测, 色彩平衡, 预处理技术, YCgCr 颜色空间

First Face-region Location Based on a Novel Color Space YCgCr

WANG Jian-Guo^{1,2} LIN Yu-Sheng¹ YANG Jing-Yu¹

(School of Computer Science & Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)¹

(Network & Education Center, Tangshan College, Tangshan 063000)²

Abstract A color balance method is introduced to correct the image color bias of the input images in the RGB color space. A joint skin-color model of luminance and Cg-Cr chroma lookup table is constructed in the new color space YCgCr to detect skin-color regions in the images. Efficient pre-processing techniques are proposed in order to further remove some non-face regions in the skin-color segmentation results, to reduce the searching regions for face location. Finally, some experiments are done on two testing image sets, experimental results show that this skin-color model is effective to detect skin-color regions from the color images with complex backgrounds, also has more robust illumination adaption, and the proposed pre-processing techniques can remove more non-face regions with the guarantee of lower dismissal rates.

Keywords Skin-color detection, Color balancing, Pre-processing techniques, YCgCr color space

1 引言

人脸检测是指对任意给定的一幅图像判断是否存在人脸;若存在,则进一步指出人脸的位置及大小。它是自动人脸识别系统的第一步,其检测结果的好坏,直接影响着后续工作的进行。

根据在人脸检测过程中是否使用颜色信息,可以分为基于灰度图像和基于彩色图像的人脸检测。从检测效果来看,基于灰度图像的人脸检测^[1],由于仅利用了灰度的变化,因此要对全图做多尺度空间的搜索,计算量大且耗时。基于彩色图像的人脸检测^[2],主要利用了肤色信息对方向不敏感,运算量较低,执行效率高及肤色能够与大部分背景颜色相区别的特点,因此有效利用肤色信息可以大大减小人脸区域的搜索范围,对于快速人脸检测很重要。但是由于肤色等彩色信息经常会受到光源颜色等因素的影响,会使彩色图像整体上偏离本质色彩,出现图像发生色偏情况;另外肤色信息容易受到复杂背景,特别是类肤色背景的影响,因此仅使用肤色信息进行人脸检测是不可靠的,所以还需要利用其它辅助方法进行验证。

本文考虑了光照条件的影响,对色彩发生变化的图像进行了颜色校正,在采用的新颜色空间 YCgCr 上建立了肤色模

型,对肤色区域进行检测,并采用了预处理技术,对经过形态学开运算操作后的二值图像进行一系列处理,去除明显的非人脸肤色区域,为人脸定位减少搜索空间。

2 色彩平衡

在基于肤色的候选人脸区域检测方法中,大多数方法只考虑了白色光源,在有有色光源的情况下,将不能正确检测到肤色区域的问题,从而会影响肤色区域检测的后续工作。色彩平衡则主要解决了这种由于光源条件带来的色偏问题。

色彩平衡过程是指决定特定场景的光照强度,然后调整图像的红、绿、蓝三个分量的强度,恢复图像场景的原始颜色特征。由于对于大多数图像来说,不能精确决定环境的光照条件,因此我们采用“Gray World”假设方法^[3]对彩色图像进行颜色校正。

色彩平衡方法具体计算步骤如下:

(1) 计算图像的 R、G、B 三分量各自的总和, sumR 、 sumG 、 sumB ;

(2) 计算 R、G、B 各分量的调整系数,令 $aR = \text{sumG}/\text{sumR}$; $aG = \text{sumG}/\text{sumG} = 1$; $aB = \text{sumG}/\text{sumR}$;

(3) 利用调整系数调整图像的 R、G、B 三分量值: $R = R * aR$; $G = G * aG$; $B = B * aB$;

^{*} 基金项目: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;林宇生 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。

(4)将调整后图像的R、G、B三分量值大于255的值调整为255。

色彩平衡效果见图1。



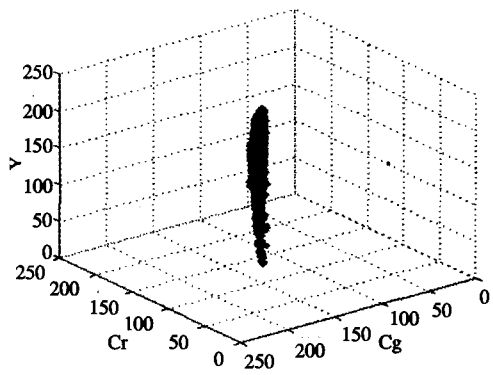
(a) 偏色的原图 (b) 颜色校正后的图

图1 色彩平衡效果图

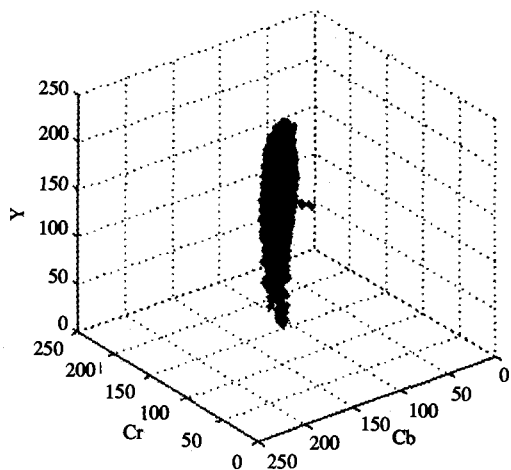
3 YCgCr 颜色空间及肤色模型的建立

3.1 YCgCr 颜色空间

在RGB颜色空间中,颜色被定义为由R、G、B三个分量组成。这三个分量都包含了亮度信息,它们之间存在着很大的相关性,而这种相关性,不利于肤色的检测和分割。因为肤色检测的精度直接影响人脸检测和定位的性能,所以选择一个合适的颜色空间用于肤色检测非常重要。而去除这种相关性的方法就是将RGB颜色空间表示的图像转换到亮度和色度分离的颜色空间。



(a) YCgCr 颜色空间



(b) YCbCr 颜色空间

图2 两颜色空间中肤色聚集区域

文[4]中比较了九种不同的颜色空间,得出的结论是TSL颜色空间在单高斯模型和混合高斯模型下提供了最好的结果。由于YCbCr颜色空间^[5]具有和人的视觉感知一致性、与TSL颜色空间一样肤色聚类效果好及亮度和色度相互独立的特点,因此YCbCr颜色空间是经常被使用的建立肤色模型的空间。

由于肤色在YCgCr颜色空间比在YCbCr颜色空间具有更好的聚集性(见图2),因此本文采用了一种基于YCbCr的新颜色空间YCgCr。YCgCr颜色空间类似于YCbCr颜色空间。其中Y代表图像的亮度信息, $Y \in [16, 235]$;Cg和Cr分量代表颜色信息, $Cg, Cr \in [16, 240]$ 。两个颜色空间的区别仅在于Cg和Cb分量。YCgCr颜色空间和RGB颜色空间的转换公式可以从YCbCr颜色空间和RGB颜色空间的转换公式导出^[6],转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cg \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.2568 & 0.5041 & 0.0979 \\ -0.318 & 0.4392 & -0.1212 \\ 0.4392 & -0.3677 & -0.0714 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.2 肤色模型的建立

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,它是肤色检测的前提。Hsu等人用椭圆来表示肤色的色度区域^[2],存在肤色检测时计算量大的问题,并且椭圆也不能很好地拟合肤色色度的分布。为了能够检测到图像中尽可能多的真肤色区域,而包含尽可能少的伪肤色区域,本文在新颜色空间YCgCr上建立了亮度和Cg-Cr色度查找表联合进行肤色区域检测的肤色模型。

本文手工剪裁了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,统计的亮度范围为 $45 \leq Y \leq 235$,Cr和Cg的平面分布见图3。

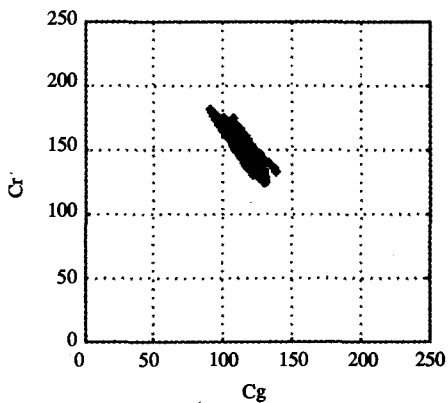


图3 肤色在Cg-Cr平面的分布

4 人脸候选区域预处理技术

经过肤色检测得到了二值图像的连通区域,为了减少人脸检测与定位的搜索空间,要对检测到的候选人脸区域进行技术处理,去除部分非人脸肤色区域。本文主要从以下几个方面考虑对二值图像进行预处理。

(1)去除肤色区域面积小于400像素的区域;因为人脸区域太小,在进行肤色区域检测及预处理阶段会丢失脸部特征,形成无孔区域,不利于使用欧拉数进行预处理。

(2)计算每一块肤色区域中的孔数,若无孔,则丢弃该块

肤色区域。这里借助欧拉数的概念,欧拉数描述了物体的一个简单的拓扑不变的属性;它基于物体的连通部分的数目,以及物体中孔的数目。欧拉数计算公式^[7]是: $\vartheta = S - N$ 。其中 S 是指物体连通部分的数目, N 指区域中孔的数目,由于我们每次只考虑一个区域,即 $S=1$,因此 $N=1-\vartheta$ 。

(3) 连通区域的宽和高必须大于 20 像素。

(4) 人脸区域重心(质心)应在连通区域内;这可以去掉一些凹的非人脸肤色区域。重心(质心)的计算见公式(2)。

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2)$$

其中: $m_{10} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m xf(x,y)$, $m_{01} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m yf(x,y)$, $m_{00} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m f(x,y)$, 在二值情况下表示区域面积,

(5) 计算肤色区域的宽度和高度比例;限定了要检测的人脸形状的比例大小,排除了一些类肤色区域但长宽比不合要求的区域;其值为 $0.8 \leq hw_ratio = \frac{Width}{Height} \leq 2$ 。

(6) 计算肤色区域的面积和该肤色区域外接矩形的面积的比;可以排除一些不规则但具有肤色特征的非人脸区域;

$area_ratio = \frac{Sardea}{Rarea} \geq 0.5$, 其中 $Sardea$ 代表某一块肤色区域面积,即像素数, $Rarea$ 代表该块肤色区域外接矩形区域的面积。

5 实验及结果分析

本文实验共采用了两个测试集。测试集 1 由 84 幅图片组成,其中 62 幅单人照(包含头肩部证件照、半身照、全身照及 12 幅颜色发生偏移的照片)和 22 幅集体照,有简单和复杂背景,有光照变化,没有和脸部粘连的肤色及类肤色区域,每幅图片中的人脸都大于 400 像素。测试集 2 共 21 幅集体照,有和人脸区域粘连的肤色及类肤色区域,背景复杂,光照有变化,不包含小于 400 像素的人脸。针对测试集 2 采用了三组预处理规则进行处理,并比较了实验结果。两个测试集的实验结果见表 1。

表 1 中非人脸数指图像经过肤色区域检测,并经过形态学开运算操作后得到的二值图像中非人脸区域的总数。正检率和误检率的计算见公式(3)。

表 1 不同的测试集的实验结果

测试集	预处理规则	图片数	人脸数	正检人脸数(正检率)	非人脸数	误检数(误检率)
1	6 条规则	84	139	137(98.6%)	2110	43(2.04%)
2	6 条规则	21	155	99(63.9%)	1645	58(3.5%)
2	5 条规则	21	155	124(80%)	1645	107(6.5%)
2	2 条规则	21	155	153(98.1%)	1645	238(14.5%)

$$\text{正检率} = \frac{\# TrueFace_Detected}{\# Face}$$

$$\text{误检率} = \frac{\# NonFace_DetectedAsFace}{\# NonFace} \quad (3)$$

表 1 中的预处理规则分为 6 条规则、5 条规则和 2 条规则。其中 6 条规则对应第 4 部分的预处理技术中的 6 条规则;5 条规则是从 6 条规则演变而来,去除了 6 条规则中的第(4)条规则,并且对第(5)、(6)条规则中的阈值进行了改变,分别为: $0.5 \leq hw_ratio \leq 3$, $area_ratio \geq 0.25$;2 条规则则仅保留了 6 条规则中的第(1)和(3)条规则。

由表 1 中数据可以看出,对于测试集 1 采用 6 条规则得到的结果比较好,其中有两张脸漏检,是因为在肤色检测时脸部特征丢失,形成无孔的连通区域,在使用规则(2)时被去除;误检率很低,在人脸定位时,可以极大减少搜索空间。而对于测试集 2 来说,由于 6 条规则比较严,因此正检率较低;5 条规则是对 6 条规则条件的放宽,正检率提高到 80%,误检率提高到 6.5%,即人脸定位时的搜索空间也增多了;2 条规则中,有两张人脸漏检,这是由于人脸曝光过度引起;由此我们可以看出,在 2 条规则下,人脸正检率很高,但是误检率也提高到了 14.5%。由此可见,对于复杂环境下人脸检测如果保留真正的人脸数多,必须放宽预处理规则,增加人脸定位时的搜索时间与区域,才能使漏检率降低。

图 4 是部分实验效果图。图(c)和图(d)是分别经过 6 条规则和 5 条规则处理后的结果,其中有两张人脸由于没有孔特征,被规则(2)去除,图(e)仅使用了 2 条规则,5 张人脸区域全被保留,但是从图中也可以看出,非人脸区域也保留了很多。

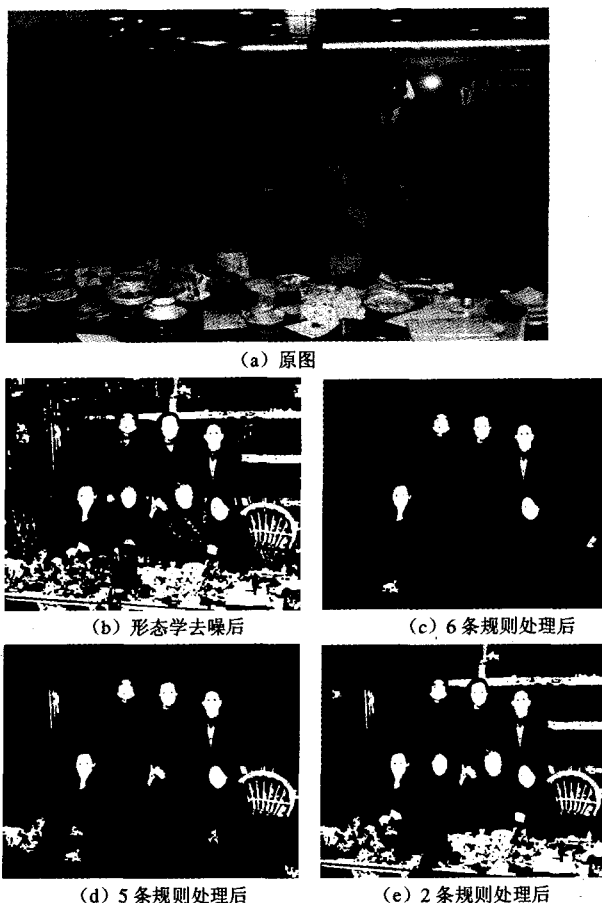


图 4

据算法和加密类型做出约定。

以隐型对称算法加密为例,其流程如图 2 所示:分别为明文、密钥、密文和原始明文。

密钥是乱码彩色图像,密码算法又不被人知晓,密文是不会被他人破解。实现了信息的安全传输或存储。

至于彩色图像密钥,可以由信息传递双方约定随时生成,也可以建立彩色图像密钥库。私钥彩色图像也是由编制的计算机软件生成,每个私钥均可由不同的运算形式产生,因此,密钥的灵活性更确保了信息传输的安全型。公钥可以使用任何彩色图像,甚至包括从网络上下载的彩色图像,只要下载的图像相同即可。

对于对称算法,加密密钥和解密密钥相同,因此,需要使用相同的密钥生成程序形成加解密密钥。只要密钥不被他人窃取,密文不会被破译的,信息安全能够得到保证。

至于非对称算法,发送方和接受方使用的是公钥,加密和解密密钥是公开的。虽然,彩色图像密钥被世人所知,但是,彩色图像信息融合密码术的算法仍旧能够保证信息的安全。因为,本密码术可以做到,即使窃密方搞到彩色图像密钥,但不知算法,仍旧不能破译密文。这也就是为什么在一个集团内,例如某某公司,大家使用公开的彩色图像密钥库,两人之间的密文传送,不会被集团内的第三人所破解。否则,密码技术也不能称之为安全可靠。

对于隐型加密,使用的彩色图像密钥是乱码图像。虽然看上去是乱码图,但是每个像素的 RGB 颜色色度值是确定的,是由发送方和接受方事先使用密钥生成程序形成,或由彩色图像密钥库事先选择约定。图 3 是两个完全不同的彩色图像密钥。

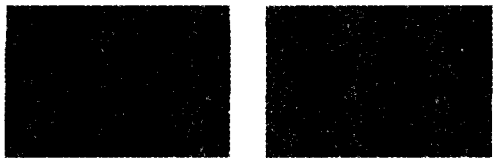


图 3 两个完全不同的彩色图像密钥

至于显型加密,彩色图像密钥是视觉上看起来很普通的彩图,例如生活照片、风景画、网上下载的图片等等均可,目的就是不被人怀疑。因为显型加密有两类,一类是仅仅使用视

觉主观隐藏,解密后的还原图像不被人主观感知与原始图像的那些许差异;另一类是客观隐藏,解密后的还原图像要与原始图像相同,可以满足计算机的判读识别。当然,客观隐藏技术要比主观隐藏技术复杂一些,需要把主观隐藏方法中的不足弥补上去,需要两倍的处力量。但是,主观隐藏方法相对简单,且能满足视觉上的识别。

为了提高本密码术的保密强度,在编制的加密解密软件中,增加一些选项,例如彩色图像密钥像素的选取间隔,是逐点顺序选取还是隔几点非规则选取;再如彩色图像密钥的大小,是与彩色图像密文大小相同,还是与密文图像大小不等,或大或小。这些变量可以使窃密者更难下手破译密码原文。

结论 本文根据色度学理论提出一种全新的密码技术—彩色图像信息融合密码技术。由于该技术密钥灵活,且对原图像和密钥图像同时进行了线性和非线性变换,因此具有很高的安全性和保密性。经过实验和检验,算法理论简单,保密性强,加密速度快,本密码技术产品的成本相对较低,只需简单的软件即可实现加密和解密,不需要昂贵的硬件支持,一旦形成产品,可在信息安全传输存储等方面发挥巨大作用。

参考文献

- 1 王宇洁,许占文,郑守春. 密码技术综述. 沈阳工业大学学报, 2000, 22(5): 406~409
- 2 李昌刚,韩正之,张浩然. 图像加密技术综述. 计算机研究与发展, 2002, 39(10): 1317~1324
- 3 齐东旭. 矩阵变换及其在图像信息隐藏中的应用. 北方工业大学学报, 1999, 11(1): 24~28
- 4 丁玮,齐东旭. 数字图像变换与信息隐藏与伪装技术. 计算机学报, 1998, 21(9): 838~843
- 5 Schneier B. 应用密码学——协议、算法与 C 源程序. 北京:机械工业出版社, 2000
- 6 Shamir A. How to share a secret. Communications of ACM, 1979, 22(11): 612~613
- 7 张文华,陈雅颂,穆国旺. 基于素数的图像置乱技术. 河北工业大学学报, 2006, 35(4): 1~4
- 8 王英,郑德玲,王振龙. 空域彩色图像混沌加密算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(6): 876~880
- 9 李谦. 基于混沌序列和 DES 的彩色图像加密算法的研究. 计算机工程与设计, 2006, 27(6): 999~1004
- 10 斯廷森著. 密码学原理与应用(第二版). 冯登国译. 电子工业出版社, 2003, 3
- 11 Baker M P. Computer Graphics: C version, Second Edition. Donald Hearn, 2003, 4
- 12 陆系群,陈纯. 图像处理原理技术与算法. 浙江大学出版社, 2001, 8
- 13 汤顺青. 色度学. 北京理工大学出版社, 2002
- 14 Castleman K R. Digital Image Processing(影印版). 清华大学出版社, 1998

(上接第 230 页)

结论和下一步工作 由于利用肤色信息进行肤色区域检测具有较低的计算量,能够与大多数背景区域区分开,可以有效地减小人脸检测、定位的搜索空间,因此肤色常被用于彩色图像中的人脸候选区域检测。但是由于肤色特征对光照变化很敏感,因此,基于肤色的人脸检测方法在实际应用前必须排除光照的影响。

本文提出的人脸区域初检测方法,考虑了以下问题:在 RGB 颜色空间对彩色图像进行色彩平衡校正;选择亮度和色度分离的新颜色空间 YCgCr,建立了肤色模型,最后对经过形态学开运算操作去噪后的二值图像引入预处理技术,进行非人脸肤色区域去除。实验结果表明,文中的方法具有较好的人脸初定位效果。

我们下一步的工作就是在人脸区域初检结果的基础上,采用模板脸匹配技术或 SVM 等统计学习的方法,进行人脸区域验证并定位。

参考文献

- 1 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
- 2 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
- 3 Chiang J. Gray World Assumption. <http://ise.stanford.edu/class/psych221/projects/99/jchiang/intro2.html>
- 4 Terrillon J C, Shirazi M N, Fukamachi H, et al. Comparative performance of different skin chrominance models and chrominance spaces for the automatic detection of human faces in color images. In: Proceedings of Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2000, 54~63
- 5 Phung S L, Bouzerdoum A, Chai D. A novel skin color model in YCbCr color space and its application to human face detection. In: Proceedings of International Conference on Image Processing, 2002, 1: 289~292
- 6 de Dios J J, Garcia N. face detection based on a new color space YCgCr. In: Proceedings of International Conference on Image Processing, 2003, 3: 909~912
- 7 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