

基于多肤色模型的人脸检测系统研究

滕秋霞 沈天飞 杨金霄

(上海大学机电工程与自动化学院 上海 200072)

摘要: 对用于人脸检测系统的多种肤色模型进行了研究,详细分析了固定阈值分割法、高斯肤色模型法和最大类间方差法,并分别在加州理工大学彩色人脸库上进行了仿真实验。实验结果表明,在不同的光照条件和背景环境下,3种肤色模型分割效果并不一致,而主要影响因素就是光照条件。通过大量数据分析,统计出3种模型能达到最好分割效果时的光照条件。结合Y通道信息,提出根据光照条件自动切换3种肤色模型的人脸检测算法。相对于过去单一肤色模型的人脸检测系统,本系统更稳定,更能适应环境。

关键词: 人脸检测;固定阈值分割法;高斯肤色模型;Otsu

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Research on face detection system based on multi-skin color models

Teng Qiuxia Shen Tianfei Yang Jinxiao

(College of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: In this paper, a variety of color models for face detection system are examined, detailed analysis of the inter-fixed threshold segmentation method, Gaussian skin color model and Otsu, respectively, on the Caltech library of color face experiments. The experimental results show that under different lighting conditions and the background environment, three color segmentation model is not consistent, but the main factors is the lighting conditions. By analyzing large amounts of data, get the lighting conditions of the three models to achieve the best results when dividing. Combined with Y channel information, present a new face detection algorithm with three color models automatically switching based on the lighting conditions. Compared to the past face detection system with a signal skin color model, the new system is more stable and adapt to the environment.

Keywords: face detection; inter-fixed threshold segmentation method; Gaussian skin color model; Otsu

1 引言

人脸检测是一种在任意数字图像中判别人脸位置和大小计算机技术,最初来源于人脸识别。近年来,由于人脸检测在安全访问控制、视觉监测、基于内容的检索和新一代人机界面等领域的应用价值^[1],作为一个独立的课题受到研究者的普遍重视。一个鲁棒性强、效率高的人脸检测系统应不受光照、阴影、复杂背景、头部姿势和人脸表情的影响^[2]。随着图像采集设备的更新,彩色数据源的普遍化,肤色作为人脸表面最为显著的特征,在人脸检测系统中的应用越来越广泛,经常用来粗略定位人脸位置,是人脸检测系统的首要环节,对基于肤色的人脸检测技术进行研究有着重要意义。

目前,典型的肤色模型有以下3种:直接定义法、参数化肤色模型法、非参数化肤色模型法^[3]。3种方法各有千

秋,适用于不同场合。将对这3种肤色模型进行详细的理论阐述,并以加州理工大学彩色人脸库作为实验素材,比较3种肤色模型的检测效果。通过大量数据分析,发现这3种肤色模型的分割效果很大程度上与光照条件有关。因此,结合光照信息,构建了一个多肤色模型自动切换的人脸检测算法,使得每一种肤色模型都能在适当的光照条件下发挥最优的检测效果,弥补了这3种模型都脱离了光照信息的缺陷,比起基于单一肤色模型的人脸检测系统,本系统更能适应环境,检测率更高。

2 肤色模型

研究表明,不同人之间的肤色色调不存在明显差别,之所以感官表现不同是受到了亮度的干扰。YCbCr模型是欧洲电视系统采用的一种颜色编码方法,Y代表亮度,Cb代表蓝色色度、Cr代表红色色度,是构成彩色的两个色度

分量。亮度信号 Y 和色度信号 C_b, C_r 是分离的^[4], 适用于人脸检测。本文的肤色模型都是基于 $YCbCr$ 颜色空间的。

2.1 直接定义法

人脸肤色在 $YCbCr$ 空间有很好的聚类性, 研究者们通过大量肤色信息统计出一个肤色的范围^[5]:

$$\begin{aligned} 133 < C_r < 177 \\ 77 < C_b < 127 \\ 190 < C_b + 0.6C_r < 125 \end{aligned} \quad (1)$$

因此可以通过 C_b, C_r 的阈值范围判断输入图像中每个像素点的属性, 如果满足下面的等式, 则属于肤色区域; 不满足, 则不属于肤色区域。这是一个规则简单的肤色模型, 也称为固定阈值分割法, 它能实现对颜色的快速分类。

如图 1(a), 是原 RGB 彩色图像, 图 1(b) 是图 1(a) 经过固定阈值法分割后的二值化人脸图像, 检测速度快, 分割效果精确。

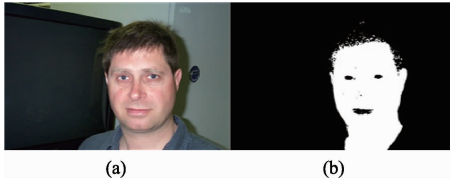


图1 固定阈值分割法肤色分割效果

2.2 参数化肤色模型

参数化肤色模型法是以概率分布为基础, 通过大量的样本统计后进行参数估计, 进而表示肤色分布。其中, 简单高斯肤色模型是应用最为广泛的一种参数肤色模型。基于 $YCbCr$ 空间的高斯肤色模型建立的依据是, 在 $YCbCr$ 色彩空间中, 不同肤色的色度分量 C_b 和 C_r 的分布趋于一致, 近似呈二维高斯分布 $N(\mathbf{M}, \mathbf{C})$ ^[6]。通过计算像素的概率值, 得到连续的数据信息, 形成一幅肤色相似度人脸图像。函数 $P(C_b, C_r)$ ^[7] 就是高斯概率密度函数, 通过它来确定每个像素点的肤色相似度, 最后通过阈值设定, 得到肤色分割的图像:

$$P(C_b, C_r) = \exp[-0.5(\mathbf{x} - \mathbf{M})^T \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{M})] \quad (2)$$

这里, \mathbf{x} 为样本像素在 $YCbCr$ 空间的值 $\mathbf{x} = [C_b, C_r]^T$, \mathbf{M} 为肤色在 $YCbCr$ 空间的样本均值 $\mathbf{M} = E(\mathbf{x})$, \mathbf{C} 为肤色相似度模型的协方差矩阵 $\mathbf{C} = E((\mathbf{x} - \mathbf{M})(\mathbf{x} - \mathbf{M})^T)$ 。通过文献调查和实验, 本文确定均值 \mathbf{M} 和方差 \mathbf{C} 的值分别为:

$$\mathbf{M} = (156.6699, 117.4361) \quad (3)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 299.457 & 12.1430 \\ 12.1430 & 160.130 \end{bmatrix}$$

如图 2(a), 是原 RGB 彩色图像, 图 2(b) 是图 2(a) 经过高斯肤色模型法分割后的效果图, 能得到完整的人脸区域, 但相较于前面的方法更苛刻, 剔除了肤色区域的阴影部分。

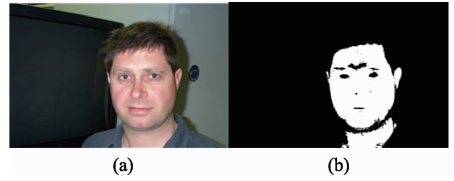


图2 高斯肤色模型法肤色分割效果

2.3 非参数化肤色模型法

非参数化模型是非常受欢迎的一种肤色模型, 它是一种自适应阈值分割算法。最大的优势是它能够根据所选取的肤色样本调节分割阈值, 不需要人为地去设定任何参数, 并且可以得到不错的效果。但是该模型的准确性直接取决于所选取的肤色样本, 不具备很强的数据归纳能力。本文采用的是最大类间方差法。

最大类间方差法是 Otsu 在 1978 年提出的, 该算法在判决最小二乘法原理的基础上推导得出。计算过程简单, 是一种稳定、常用的算法。在对图像进行分割时, 选定的分割阈值应使目标区域的平均灰度和非目标区域的平均灰度与整幅图像的的平均灰度之间差别最大, 这种差异用区域方差表示^[8]。其具体算法如下:

设图像中灰度范围为 $[0, L-1]$, 其中灰度 i 的像素个数为 n_i , 那么总的像素数为:

$$N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i \quad (4)$$

各灰度值出现概率为:

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad (5)$$

对于 p_i , 有:

$$\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad (6)$$

用阈值 T 把图中的像素分成 c_0 和 c_1 两类, c_0 由灰度值在 $[0, T-1]$ 的像素组成, c_1 由灰度值在 $[T, L-1]$ 的像素组成, 那么区域 c_0 和 c_1 的概率分别为:

$$\begin{aligned} p_0 &= \sum_{i=0}^{T-1} p_i \\ p_1 &= \sum_{i=T}^{L-1} p_i = 1 - p_0 \end{aligned} \quad (7)$$

区域 c_0 和 c_1 的平均灰度分别为:

$$\begin{aligned} \mu_0 &= \frac{1}{P_0} \sum_{i=0}^{T-1} i p_i = \frac{\mu(T)}{p_0} \\ \mu_1 &= \frac{1}{P_1} \sum_{i=T}^{L-1} i p_i = \frac{\mu - \mu(T)}{1 - p_0} \end{aligned} \quad (8)$$

式中: μ 是整幅图像的平均灰度:

$$\mu = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i = \sum_{i=0}^{T-1} i p_i + \sum_{i=T}^{L-1} i p_i = p_0 \mu_0 + p_1 \mu_1 \quad (9)$$

两个区域的总方差为:

$$\sigma_B^2 = p_0 (\mu_0 - \mu)^2 + p_1 (\mu_1 - \mu)^2 = p_0 p_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (10)$$

让 T 在 $[0, L-1]$ 范围内依次取值,使 σ_b^2 最大的 T 值便是最佳区域分割阈值。

本文将图片划分为人脸区域与非人脸区域,分别计算两个区域的颜色分量值的平均灰度,然后计算两个区域的总方差,让 T 在 $[0, 255]$ 范围内依次取值。使得总方差值最大的就是最佳分割效果^[9]。按照上面的方法分别对 Cr 和 Cb 进行大量实验,发现 Cr 所设定的阈值具有较好的分割效果,因此本文选择设定 Cr 的值来实现 Otsu 自适应阈值分割。图 3(a)是原 RGB 彩色图像,图 3(b)是经过最大类间方差法分割后的效果图,与上面两种方法比较,略显粗糙,没有突出鼻子、嘴巴等器官特征,但对于主要目的是找到完整的人脸区域的应用场合,可以忽略不计这个缺陷。

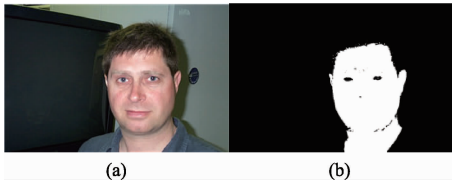
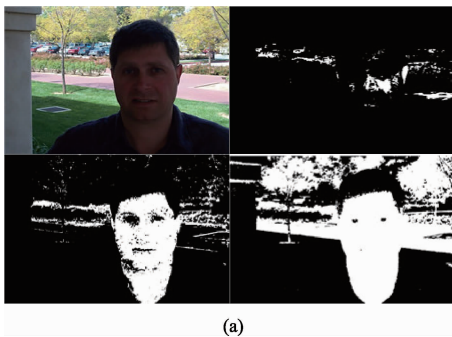


图3 最大类间方差法肤色分割效果

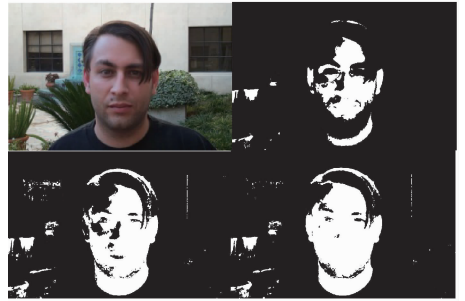
本文通过大量实验发现,在噪声较低,光照均匀的环境下,3种肤色模型的分割效果表现都很好。但是在实际的人脸检测系统中,背景一般比较复杂,光照的明暗程度和光源颜色等都可能使肤色等色彩信息出现偏差^[10]。此时,针对同一幅 RGB 图片,3种肤色模型的分割效果并不一致。如图 4 中的 3 组图片,每一组第一幅是 RGB 彩色图像,右上方的图是采用高斯肤色模型法的分割结果,左下方采用的是固定阈值分割法,右下方采用的是 Otsu 最大类间方差法。显然,(a)组原图背景亮度大,人脸区域亮度低,此时固定阈值法分割效果最好;(b)组原图中背景噪声小,光照均匀,高斯肤色模型法最好;(c)组原图背景复杂,人脸区域亮度不均匀,Otsu 最大类间方差法效果最好。实验结果显示,3种肤色模型的分割结果与人脸区域和背景区域的亮度有很大关系,每一种肤色模型都有各自适用的条件。其次,这 3 种方法纯粹从 Cb,Cr 两个色度分量出发,完全没有考虑 Y 通道的亮度信息。因此,结合 Y 通道信息来考虑肤色模型是很有必要的。



(a)



(b)



(c)

图4 3种肤色模型分割效果

3 实验结果及分析

本文以加州理工大学彩色人脸库作为实验素材,60张不同肤色,不同背景,不同光照的 RGB 彩色图片,用上文介绍的 3 种肤色模型分别进行检测。其中,固定阈值分割法有效检测到人脸 27 张,高斯肤色模型法有效检测到人脸 21 张,最大类间方差法有效检测到人脸 27 张。对这 3 组数据的光照条件进行分析,实验指标 3 个:

- 1)人脸区域亮度均值,表示肤色亮度情况;
- 2)人脸区域亮度方差,表示肤色均匀程度;
- 3)人脸区域亮度均值与背景区域亮度均值之差的绝对值,表示人脸区域和非人脸区域的明暗对比。

图 5 显示了 3 种肤色模型针对人脸区域亮度均值的比较情况,图中菱形数据点是固定阈值分割法,圆形数据点是

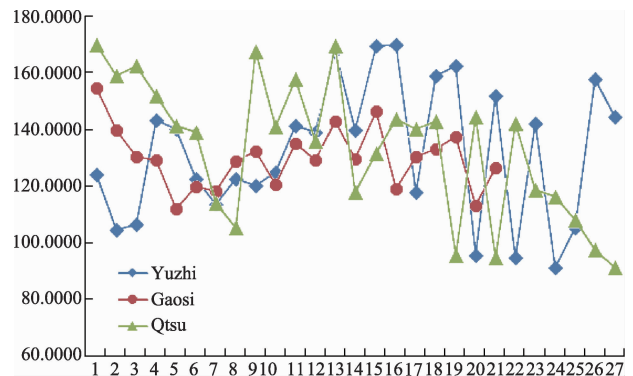


图5 针对人脸区域亮度的比较

高斯肤色模型法,三角形数据点是最大类间方差法。显然,人脸区域亮度主要分布在 80~180,固定阈值分割法跨越的亮度值范围相较于其他两种分割算法更宽;高斯肤色模型适用的人脸区域亮度均值基本都分布在 120~140,而最大类间方差法恰恰相反,适用于人脸区域亮度值在小于 120,大于 140 的时候。

图 6 显示了 3 种肤色模型针对人脸区域亮度方差的比较情况,图中数据表示方式与上图一样。亮度方差代表的是人脸区域亮度均匀情况,数值越小,肤色越均匀。通过实验发现,在亮度方差大于 50 时,人脸区域的亮度就显得明暗不均。高斯肤色模型法能检测到人脸的样本中,亮度方差基本分布在 30~50;固定阈值法除了个别情况在方差极大的情况下能检测到人脸外,其他与高斯肤色模型法的分布情况差不多;而最大类间方差法在人脸亮度不均匀的情况下仍能得到很好的检测效果。

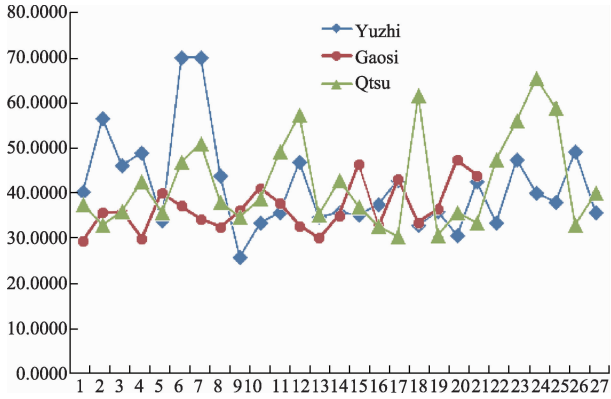


图 6 针对人脸区域亮度方差的比较

图 7 显示了 3 种肤色模型针对人脸与背景明暗对比度的比较情况,数值越大,人脸和背景的明暗对比度越大,图中数据表示方式与上图一样。从总体情况来看,最大类间方差法比另外两种模型对明暗对比度大的情况检测效果更加好,固定阈值法其次。

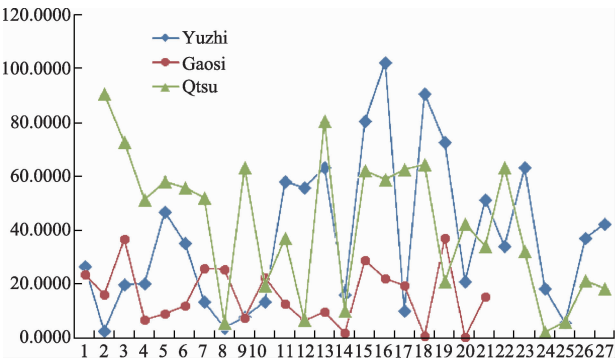


图 7 针对人脸与背景明暗对比的比较

总的来说,高斯肤色模型检测范围最狭窄,只有当光照亮度在 120~140,且肤色均匀、背景噪声小时才能得到不错的检测结果;固定阈值法对肤色亮度检测范围最宽,对光照条件并没有太过苛刻的要求,具有普适性。Otsu 方法是

依据图像的直方图,具有自适应性,大多数情况下都能找到很好的分割阈值。尤其在人脸区域亮度方差较大,或者肤色与背景明暗对比度特别大时,也能定位人脸区域。但从检测效果来看,经常把类肤色区域包括进来,没有另外两种方法更加精确,需要大量的后期处理。因此,这 3 种检测算法各有千秋,适用于不同的场合。

经过实验发现,3 种肤色模型的检测效果与光照条件有很大的关系,但是 3 种肤色模型都是从 Cb,Cr 两个色度分量来考虑,完全忽略了 Y 通道的亮度信息。同时,大多数的人脸检测系统都是基于单一的肤色模型,鲁棒性不强。因此利用实验所得关于亮度的量化数据,本文构建了根据亮度信息,多肤色模型自动切换的人脸检测系统。它表示为:原始输入图像首先采用具有普适性的固定阈值分割法初步检测出人脸区域 A_0 ,如果 A_0 亮度不均匀,或者人脸区域亮度值和背景区域亮度值相差很多时,则采取 Otsu 法对原图重新进行人脸检测;在人脸区域亮度比较均匀,而且也不是很暗的情况下,但人脸区域 A_0 亮度大于 120 且小于 140 时,那么需要用高斯肤色模型法对原始输入图像重新分割;上述条件都不符合,则 A_0 就作为最终的分割结果。研究发现,当人脸区域亮度值的均方差大于 50 时,人脸区域的亮度就变得明暗不均,因此将 50 作为亮度均匀的阈值;当人脸区域亮度值和背景区域亮度值相差大于 60 时,Otsu 自适应阈值分割法有很好的分割效果,因此将 60 作为人脸和背景明暗对比度阈值。 avg_Y 表示人脸区域亮度平均值, var_Y 表示人脸区域亮度方差, con_Y 表示人脸区域亮度与背景区域亮度之差的绝对值。具体算法如图 8 所示。

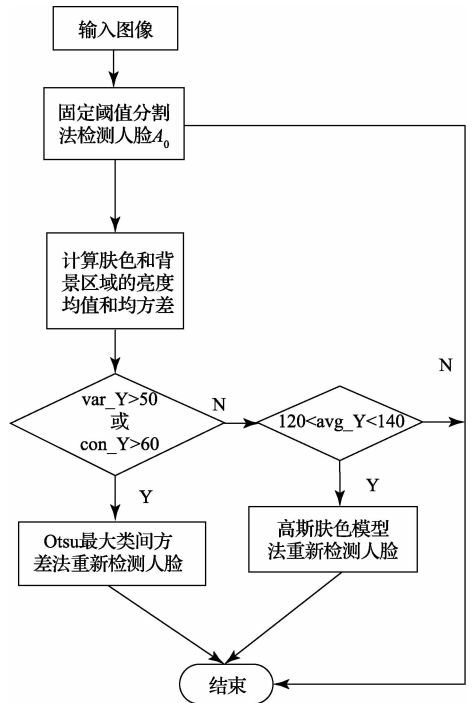


图 8 多肤色模型切换的人脸检测系统流程

4 结 论

随着计算机技术的发展,彩色图像的普及和应用为人脸检测提供了新的途径。肤色作为人脸最主要的特征,不依赖于具体的面部器官特征,对于不同表情和姿态下的人脸都适用,具有相对的稳定性^[1],因此成为人脸检测中的常用特征。本文针对基于肤色的人脸检测中常用到的3种肤色模型进行了讨论,分别是固定阈值分割法,高斯肤色模型法,最大类间方差法,阐述了这3种模型的基本原理。并且以加州理工大学彩色人脸库作为实验素材,分别对这3种肤色模型进行了大量实验,发现3种模型的分割效果和光照条件有很大关系。经过数据统计分析发现,高斯肤色模型对环境光照条件最为苛刻,只有当肤色均匀,背景噪声小的情况下才能得到比较好的检测效果,固定阈值分割法能处理的人脸区域亮度范围最宽泛,而最大类间方差法在肤色不均匀,人脸和背景明暗对比度较大的情况下,依然能取得很好的检测效果。因此,本文依据人脸区域亮度均值,人脸区域亮度方差,人脸和背景的亮度对比度这3个信息,构建了一个能自动切换3种肤色模型的人脸检测系统。实验表明,该系统不仅弥补了3种肤色模型都缺失Y通道亮度信息的缺陷,而且克服了基于单肤色模型人脸检测系统的不稳定性,提高了人脸检测率。

参考文献

- [1] 宋广阔. 人脸跟踪检测技术的应用研究[D]. 沈阳:东北大学,2011:2.
- [2] TSITSOULIS A, BOURBAKIS N. A methodology for detecting faces from different views[C]//2012

IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). IEEE, 2012, 1: 238-245.

- [3] 李瑞淇. 基于肤色和改进的 Adaboost 人脸检测算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2014:18.
- [4] 翁磊,沈天飞,张贺. 应用于智能轮椅控制的头部姿态识别[J]. 电子测量技术,2013,36(12):45-48.
- [5] 曾飞,蔡灿辉. 自适应肤色检测算法的研究[J]. 微型机与应用,2011,30(4):37-40.
- [6] 刘春生,常发亮,陈振学,等. 改进的高斯肤色模型及其在人脸检测中的应用[J]. 仪器仪表学报,2012,33(5):11-17.
- [7] 常发亮,黄翠,刘成云,等. 基于高斯颜色模型和 SVM 的交通标志检测[J]. 仪器仪表学报,2014,35(1):45.
- [8] 朱贺,李臣明,张丽丽,等. 联合灰度阈值分割及轮廓形态识别的河道提取[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(11):1288-1296.
- [9] 翁磊. 基于非正面人脸的智能轮椅头势控制研究[D]. 上海:上海大学,2014:21.
- [10] 王琳琳. 基于肤色模型和 Adaboost 算法的人脸检测研究[D]. 西安:长安大学,2014:12.
- [11] 肖阳. 人脸检测算法综述[J]. 电子技术与软件工程,2014,4(2):113-116.

作者简介

滕秋霞,1990年出生,在读硕士研究生。主要研究方向为信号处理、图像处理。

E-mail:tengqiuxia11@163.com