

复杂背景不同光照条件下彩色图像中人脸检测

李宏伟, 陶 亮

(安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230039)

摘 要:提出一种有效的在复杂背景和不同光照条件下从彩色图像中检测出人脸的方法。该方法由两个阶段组成:第一阶段利用彩色信息和基于等腰三角形分割的方法找到可能的人脸区域。第二阶段利用二维相关系数作为对称相似性测度进行人脸认证。提出的方法能够处理各种尺寸、不同光照条件、不同的姿态及表情变化的人脸,在复杂背景的彩色图像中提高了人脸的检测速度。实验结果显示该方法获得良好的效果。

关键词:肤色分割;人脸检测;YCbCr 颜色空间;基于等腰三角形分割

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)02-0052-03

Face Detection in Complicated Backgrounds and Different Illumination Conditions of Color Images

LI Hong-wei, TAO Liang

(School of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Develops an efficient face detection scheme that can detect faces in color images with complex environments and different illumination levels. The proposed scheme comprises two stages. In the first stage color and triangle-based segmentation is adapted to search potential face regions. The second stage involves the 2-D correlation coefficient used as a symmetry similarity measure for face verification. It can handle various sizes of faces, different illumination conditions, divers poses and changeable expression; and increase the execution speed of the face detection algorithm in the case of complex backgrounds. Results of experiment demonstrate that method obtains good results.

Key words: skin color segmentation; face detection; YCbCr color space; triangle-based segmentation

0 引 言

彩色图像分析中重要的研究主题之一就是在已给的彩色图像中寻找一个特别的彩色区域。例如,自动人脸检测^[1]就是其中一个非常有价值的研究技术。在人脸图像数据库、计算机视觉等方面,自动人脸检测和识别是最重要、最复杂的难题之一。它可以用于政府、公安、电子商务、安全防务等领域。尽管如此,大多数人脸检测系统都要求人脸的数量预先已知,人脸图像不能受外界环境的影响,而且尺寸还必须严格的限制。因而它们不能处理有表情和姿态变换的人脸图像。这些现在在一定程度上大大限制了系统的适用性。基于这些原因我们认为如果没有有效的人脸检测方法,人脸识别的成功效率就很难完成。所以人脸检测和人脸识别处于同等重要的位置。图像中人脸检

测的速度和准确率是任何一个人脸识别系统所追求的至关重要的目的。

首先在 YCbCr 颜色空间和 RGB 颜色空间上对输入图像进行肤色分割,缩小人脸检测的搜索区域;接着运用基于等腰三角形的方法来进行进一步确定可能的人脸区域;最后利用两黑块的相似度判定该可能的人脸区域是否为人脸。其工作过程见图 1。

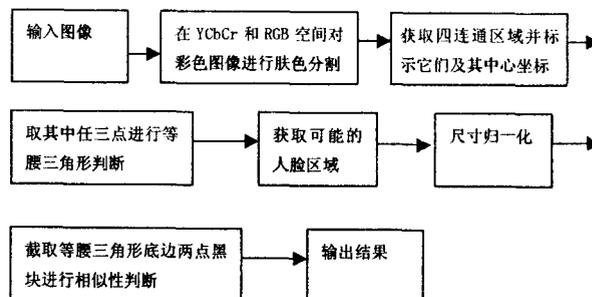


图 1 系统流程图

实验表明,针对复杂背景的彩色图像,文中提出的方法能有效快速地检测出不同尺寸、不同姿态、不同表情、偏转小于 45 度的人脸。

收稿日期:2008-05-22

基金项目:国家自然科学基金(60572128)

作者简介:李宏伟(1981-),男,硕士研究生,研究方向为模式识别;陶亮,教授,博士生导师,研究方向为模式识别、多维信号处理。

1 搜索可能的人脸区域

这个阶段主要是搜索输入图像中可能的人脸区域,主要分为在 YCbCr 颜色空间和 RGB 颜色空间^[2]进行彩色分割,扫描进行黑块标记,进行等腰三角形判断和标记出人脸区域并截取归一化。

1.1 在 YCbCr 和 RGB 空间彩色分割

最常见的表现图像色彩的是 RGB 颜色空间,在 RGB 颜色空间中,颜色被定义为由 R、G、B 这 3 个分量组成。这 3 个分量都包含了亮度信息,对肤色分割产生一定程度的影响。因此选取与 YCbCr 颜色空间相结合的方式,该颜色空间是离散的颜色空间。其中 Y 代表图像的亮度信息;Cb 和 Cr 分量代表颜色信息。式(1)是 RGB 颜色空间到 YCbCr 颜色空间转换的公式。

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \frac{1}{255} \cdot \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ 128 & -37.797 & 121.959 \\ 128 & -94.047 & -18.258 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

在 RGB 颜色空间中运用公式(2)对 R、G、B 归一化,在归一化 r、g 二维坐标平面内可能的肤色区分布得到肤色区域满足公式(3)。

$$\begin{aligned} r &= R/(R+G+B) \text{ 和 } g = G/(R+G+B) \quad (2) \\ (r-0.332) + (g-0.298) &\geq 0.0004 \text{ 和 } R > G > B \quad (3) \end{aligned}$$

实验中所采用的样本是 100 个人脸分成两组,一组 50 个用于 YCbCr 颜色空间,一组另 50 个用于 RGB 颜色空间,分别从每组中每个人脸上随机地收集 200 个像素,其所有人脸图像都在不同的光照条件下。因此每组大约是 10000 个像素。YCbCr 颜色空间仅仅是用于肤色分割,分割后在把图像变换到 RGB 颜色空间,根据实验发现会有近似肤色的区域也被当成了肤色而分割得到。但经过二值化处理后这些区域会被剔除。即肤色分割后彩色图像转化到 RGB 颜色空间再变换成灰度图像选取合适的阈值进行二值化。由于在肤色分割时把非肤色区域置成黑色,所以在二值化时我们关心的是比背景暗的像素点。实验中,这个阈值约为 95~110 之间,为此选择了 103 这个固定的全局阈值。从实验中得到肤色分割的规则:

1. $Y \in \text{value_y}$; 2. $Cb \in \text{value_cb}$; 3. $Cr \in \text{value_}$

cr ; 4. $R > G > B$; 5. $(r - 0.332) + (g - 0.298) \geq 0.0004$ 。

根据统计结果,取 value_y 的值为 80~230, value_cb 的值为 95~130, value_cr 的值为 125~175。也就是说如果输入的图像的像素满足上述 5 个规则的,则保持原颜色不变,否则把该像素点置成黑色。图 2 分别是肤色分割前后效果。

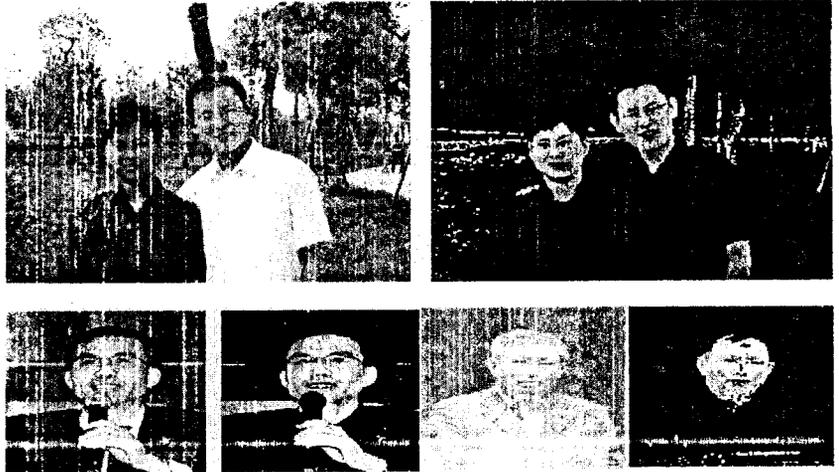


图 2 肤色分割前后

1.2 黑块标记

在本实验中采用种子线扫描算法实现黑块标记,以此获得每个黑块的像素数、中心坐标,左右上下的最大坐标等参数。详细过程请参考文献[3]。

1.3 任取不同三个黑块中心以形成一个等腰三角形

根据人脸的几何特征,很容易发现,正面人脸图像中,人的双眼和嘴能形成一个等腰三角形对应的三顶点。那么根据等腰三角形的这一特征,就可以确定人的双眼和嘴的位置,可能的人脸也就能被确定下来。考虑到实际图像的形成,人脸不可能是一个标准正面的。因此允许一定的误差,这样就不可能找到标准的等腰三角形,在此实际上运用了近似等腰三角形来判断可能的人脸区域。

如图 3 所示,如果三角形 LMR 是一个等腰三角形,则点 l(即右眼)到点 m(即嘴)的距离应该等于点 r(即左眼)到点 m 的距离,两眼的所在的边是等腰三角形的底边,而左眼和右眼到嘴的两条线是等腰三角形的两个腰所在的边,通过观察,底边长度应该在腰长度的 85% 到 105% 范围内。由于成像条件和二值化带来的影响,相对于标准的距离给出大约 20% 偏差。因此给出判据 1: $abs(D_{lm} - D_{mr}) < 0.20 * \max(D_{lm}, D_{mr})$; 判据 2: $abs(D_{lm} - D_{lr}) < 0.20 * \max(D_{lm}, D_{mr})$; 由于对图像中的人脸偏转角度顺时针和逆时针方向小于 45 度,因此给出判据 3: $l_x < m_x < r_x$ 。这里 abs 是取绝对值, max 是取两者中值较大一个, D_{lm}

是右眼到嘴的距离, D_{lr} 是左右眼之间的距离, D_{nr} 是左眼到嘴的距离, 这里的距离均为欧氏距离; 而 l_x , m_x , r_x 分别表示右眼、嘴、左眼黑块的中心在横轴上的坐标值。于是满足上述三个规则就认为找到了一个可能的人脸区域。图 4、5 是根据三角形截取的人脸区域。

提出的方法中为解决误把眉毛黑块当作眼睛黑块的问题, 用在眼睛黑块下一定距离内没有其他黑块这一特征作为一个判据。实验证明这一判据很好地解决了问题。



图 3 等腰三角形



图 4 人脸的定位



图 5 含多个人脸的检测

1.4 人脸区域的剪切和尺寸归一化

由图 3 所示, 根据右眼 l 点的坐标获得人脸区域的左上角坐标, 右下角坐标可以用左眼和嘴处点坐标获得, 详细的人脸区域的分割方法参考文献[4]。可能人脸区域归一化尺寸选择为 $100 * 120$, 人脸区域的尺寸归一化请参考文献[5]。

2 人眼区域的截取和相似性判断

这个阶段主要完成人眼黑块的截取进行相似性判断, 来最终确定是否为人脸。根据等腰三角形的底边上的两点(即左右眼的中心点), 以此为中心截取 $21 * 21$ 的像素块。运用公式(4)进行相似性测度判断[6]。

式中 A_L 和 A_R 分别为以左、右眼块中心为中心从原灰度图像中切割出大小为 $M * N$ 的小块灰度图像,

$$r = \frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [A_L(m, n) - \bar{A}_L][B_R(m, n) - \bar{B}_R]}{\sqrt{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [A_L(m, n) - \bar{A}_L]^2 \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [B_R(m, n) - \bar{B}_R]^2}} \quad (4)$$

\bar{A}_L 、 \bar{B}_R 分别为图像 A_L 、 A_R 的灰度均值。若检测到的双眼黑块是真实的, r 一般应大于或等于 0.5; r 小于 0.5, 说明这两点不是双眼所在的黑块。那么由此判定该区域不是人脸。

3 实验结果

实验中用到的图像是从互联网上下载的和摄像头、数码相机拍摄得到的不同尺寸的图像, 包括类似证件照的头部图像, 人物的半身、全身的单人照和集体照, 光照和环境有变化, 人脸多姿态、旋转小于 45 度且大都有类似肤色背景存在。表 1 为文中提出的方法的实验结果数据。漏检人脸都是由于在二值化过程中, 人嘴对应的黑块没有出现造成的。

表 1 实验数据

图像总数	人脸总数	正检人脸数	误检人脸数	漏检人脸数
60	162	157	4	5

4 结束语

文中提出一种有效而快速的从各种图像中检测出人脸方法。因为肤色分割能够排除大部分复杂的背景区域, 在很大程度上减少了运算时间。其优点有两个: 第一, 对各种光照都有良好的适用性; 第二, 运用两眼块的相似性系数作为判据极大地减少了运算量和工作时间(相对于利用神经网络方法[7,8]、支持向量机方法[9]等)。根据实验结果, 此方法运算速度完全可以应用于实时系统, 因此接下来的工作就是将该方法应用于实时人脸识别系统中。

参考文献:

- [1] 吕建强, 张瑞红. 人脸检测技术的研究现状与展望[J]. 电脑知识与技术(学术交流), 2007, 3(18): 1682 - 1684.
- [2] 边肇祺, 张学工. 模式识别[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [3] 和青芳. 计算机图形学原理及算法教程 (Visual C++ 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [4] Lin C, Fan K C. Triangle - based approach to the detection of human face[J]. Pattern Recognition, 2001, 34: 1271 - 1284.
- [5] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing [M]. Reading, MA: Addison - Wesley Publishing Company, 1992.
- [6] 陶亮. 基于人脸识别的身份认证方法研究[D]. 合肥: 中

样,估计效果得到明显改善。从以上的仿真结果,可以看到 Monte Carlo 方法的有效性。尤其是在改善估计性能方面,可以考虑加入重采样,以剔除权重比较小的样本,多保留权重大的样本,这样估计值会更为逼近真实值。

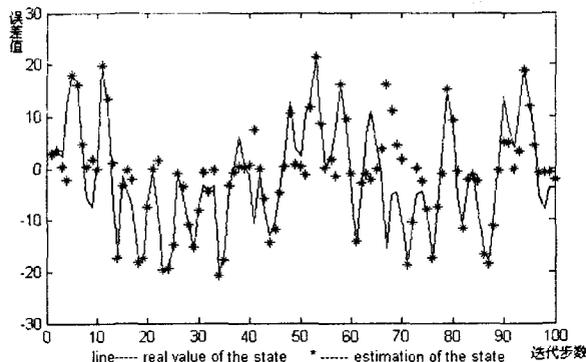


图 3 SIR 的状态仿真效果图

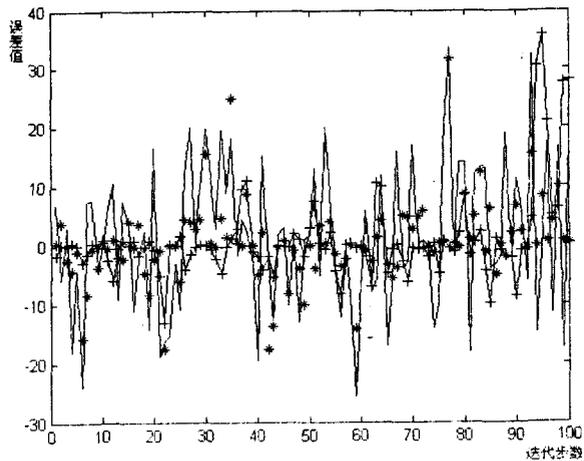


图 4 状态估计误差效果图

从图 4 所显示的三种算法的误差曲线图可以看出,SIR 算法要优于 SIS 算法,SIS 算法优于 EKF 算法。因此,在解决非线性、非高斯模型问题时,序贯 Monte Carlo 方法显出了其广泛的适用性和很好的估计准确性。

4 结束语

文中的主要工作是通过大量的计算机仿真实验来分析 EKF、SIS 和 SIR 三种算法的性能,同时对这三种算法的特点进行比较。实验结果表明,因为加入了重采样,SIR 算法要比 SIS 算法的性能更好。仿真结果

表明, Monte Carlo 方法比 EKF 的性能更好。现在 Monte Carlo 方法已广泛应用于信号处理的许多领域,例如数字通信领域^[3],文献[3]采用了一种 MCMC 即基于 Markov Chain 的 Monte Carlo 方法;还有在语音信号处理方面的应用^[4]。但这几篇文献中都没有对算法的性能进行理论的分析,没有分析误差的范围以及有没有下界等。大多都是从大量的仿真实验进行统计性能的分析。笔者在实验过程中也没有能够进行算法性能的理论分析。但从大量的程序运行来分析,其统计性能还是可以的,比较稳定。因此,对该算法的理论和应用都还值得进行深入研究,因为它较一般的 Kalman 滤波算法适用的范围广,那些非线性、非高斯模型用该算法都能求解。

文中的创新点:

- 1)对 EKF 和序贯 Monte Carlo 方法进行仿真验证,并对 EKF、SIS 和 SIR 三种算法的估计性能进行分析和比较。
- 2)通过仿真验证得到了一些有意义的结论,这对从事非线性、非高斯系统的参数估计问题的研究是有指导意义的。

参考文献:

[1] Arulampalam M S, Maskell S, Gordon N, et al. A tutorial on particle filters for online nonlinear/non - Gaussian bayesian tracking[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2002, 50(2): 174 - 188.

[2] Djuric P M, Kotecha J H, Zhang J Q. Particle filtering, IEEE Signal Processing, Magazine, 2003(9):1053 - 5888.

[3] 张卫明,张炎华,钟山.蒙特卡罗粒子滤波算法应用研究[J].微计算机信息,2007(1):295 - 297.

[4] Rabiner L R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition[J]. Proceedings of IEEE, 1989, 77(2):257 - 286.

[5] 莫以为,萧德云.基于进化粒子滤波器的混合系统故障诊断[J].控制与决策,2004,19(6):611 - 615.

[6] 冯熳,吴乐南,廖桂生.一种新的基于序列蒙特卡罗方法的符号检测器[J].电波科学学报,2005,3:132 - 135.

[7] 江宝安,卢焕章.粒子滤波器及其在目标跟踪中的应用[J].雷达科学与技术,2003,1(3):44 - 48.

[8] 邓小龙,谢剑英,倪宏伟.一个用于目标跟踪的改进粒子滤波算法[J].中国航空学报(英文版),2005,2:166 - 170.

(上接第 54 页)

国科学技术大学,2003.

[7] Han C C, Mark Liao H Y. Fast face detection via morphology - based pre - processing[J]. Patter Recognition, 2000, 33(10):1701 - 1712.

[8] Ioanna - Ourania S, George A. Tsihrantzis: An improved neural - network - based face detection and facial expression classification system[J]. SMC, 2004(1):666 - 671.

[9] 冯元骥,施鹏飞.基于支持向量机的彩色图像人脸检测方法[J].上海交通大学学报, 2003, 37(6):947 - 950.