

复杂背景下的多姿态人眼定位*

朱冰莲, 丰建军, 杨吉祥, 张磊
(重庆大学通信工程学院, 重庆 400044)

摘要: 针对彩色图像中人脸在复杂背景及多姿态下眼睛定位困难的情况,提出了一种基于肤色分割与 Gabor 滤波的人眼定位方法。首先采用粒子群算法优化改进的最大类间方差(Otsu)对图像进行肤色分割,找到人脸的候选区域;然后构造 Gabor 滤波器对候选区域进行滤波;最后经过灰度投影得到眼睛的精确位置。仿真结果表明,该分割算法在复杂背景和多姿态情况下的人眼定位中有明显优势,对于现实环境中的人脸识别有重要意义。

关键词: 眼睛定位; 粒子群算法; 肤色分割; Gabor 滤波; 灰度投影

中图分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2012)05-1977-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.05.100

Multi-position eye location based on complex background

ZHU Bing-lian, FENG Jian-jun, YANG Ji-xiang, ZHANG Lei

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To solve the problem of eye location of human face in multi-position and complex background of color image, this paper proposed a method for eye location based on skin segmentation and Gabor filter. Firstly, it used the improved Otsu algorithm based on particle swarm optimization to segment the image and obtained candidate regions of face. Then it devised an Gabor filter to filter the image to highlight the eye region. Finally, it used the gray projection to determine the position of eyes accurately. The results show that the method of skin segmentation works well and has advantages about eye location of human face in multi-position and complex background, which is important for face recognition in real time.

Key words: eye location; particle swarm optimization(PSO); skin segmentation; Gabor filter; gray projection

0 引言

眼睛作为人脸的重要特征,在人脸检测和人脸识别中发挥着重要的作用。准确的人眼定位是人脸识别具有高识别率的重要保障。目前常见的人眼定位方法很多,但大都是假设已经检测出人脸;或者直接对标准人脸库进行定位。文献[1]采用 Gabor 滤波与模板匹配相结合的方法,解决了单一背景下的人眼定位,但是对于闭眼、眯眼的情况鲁棒性不强,且操作复杂;文献[2]构造两种 Gabor 滤波器,首先找到眼睛的大致位置,然后确定眼珠所在,该方法受头发、耳朵等的影响较大,在复杂背景下准确定位率较低。

也有文献先对图像进行分割,排除背景干扰,找到人眼候选区,再进行定位。文献[3]采用肤色分割与灰度投影的方法,将其应用到视频序列中,但是对于有眼镜干扰、歪头的情况,准确度下降;文献[4]通过最大熵分割和肤色模型确定人眼,适用于一般情况下的定位,当背景复杂时错误率较高。

为提高人眼定位的准确度,使定位方法具有较强的适应性,本文提出了一种肤色分割和 Gabor 滤波相结合的人眼定位方法。该方法首先在复杂的背景下采用肤色分割的方法找出人脸的候选区域;然后对候选区域采用 Gabor 滤波突出人眼区域;最后利用投影法完成人眼的准确定位。由于 Otsu 算法在运行时间上的弊端,本文采用粒子群算法优化改进的 Otsu 进

行肤色分割,快速搜索到最佳阈值,提高了效率。实验结果表明,本文所提出的肤色分割方法效果良好,为人眼定位打下了良好的基础,使得最终定位精确度高,尤其是在复杂背景和多姿态情况下有着明显的优势。

1 复杂背景下的肤色分割

1.1 建立高斯肤色模型

高斯肤色模型假设肤色分布服从单峰高斯分布。因为 YCbCr 空间聚类性好,不易受光线影响,所以首先将彩色图像中每个像素点由 RGB 空间转换到 YCbCr 空间,然后根据 Cb、Cr 的值计算该点属于皮肤区域的概率,即根据该点离高斯分布中心的远近得到与肤色的相似度,将彩色图像转换为灰度图。相似度计算公式为

$$p(Cb, Cr) = \exp[-0.5(x-m)^T C^{-1}(x-m)] \quad (1)$$

其中: x 为样本像素在 Cb、Cr 颜色空间的值; m 为肤色在 Cb、Cr 颜色空间的样本均值; C 为肤色相似度模型的协方差矩阵。经样本统计可得均值和协方差,由此可将彩色图像转换为一幅皮肤概率灰度图像。

1.2 粒子群算法优化 Otsu 实现肤色分割

Otsu 算法^[5]因分割效果好、抗干扰能力强而得到广泛的应用,但算法复杂度大,难以用于实时处理。微粒群算法^[6]是一种新型的智能优化算法,有较强的发现最优解的能力,且算

收稿日期: 2011-09-08; 修回日期: 2011-10-20 基金项目: 中央高校基本科研专项资助项目(CDJXS10161114)

作者简介: 朱冰莲(1959-),女,四川富顺人,教授,硕士,主要研究方向为信号与信息处理(zhnbl@cqu.edu.cn);丰建军(1986-),女,河南信阳人,硕士研究生,主要研究方向为图像处理;杨吉祥(1986-),男,山东临沂人,硕士研究生,主要研究方向为图像处理;张磊(1986-),男,江苏徐州人,博士研究生,主要研究方向为通信与信息系统。

法简单,易于实现。基于此,本文针对概率图像,在改进 Otsu 的基础上采用粒子群算法寻找最佳阈值对图像进行分割,快速搜索到最佳的肤色分割阈值。

1.2.1 改进的 Otsu 算法

设图像灰度级为 $0 \sim L-1$, 2 维直方图中任意一点的值定义为 p_{ij} , 它表示点 (i, j) 发生的频率, 其中 $f(x, y) = i$ 表示像素的灰度值, $g(x, y) = j$ 表示像素邻域平均灰度。图 1 为一幅概率图像归一化到 $0 \sim 255$ 之后的二维直方图。可以看到, p_{ij} 分布主要集中在 $(0, 0) \sim (L-1, L-1)$ 对角线周围, 当阈值为 (s, t) 时, 二维直方图被分成四个部分。由图 2 可知, 主对角线上的两个区域 1 和 3 分别对应于目标和背景, 副对角线上的两个区域 2 和 4 对应于边缘和噪声。

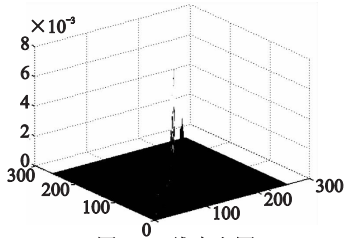


图1 二维直方图

传统 Otsu 算法假设目标和背景区域的概率和近似为 1, 则区域 2、4 概率为零, 但是实际情况往往不是, 当最佳阈值在主对角线附近时, 假设就不成立。

为避免这个问题, 对直方图中目标与背景的范围进行重新分配。将阈值选择限制在如图 3 所示的与对角线平行的两条直线之间, 这样就同时考虑了在对角线附近接近阈值矢量点的区域和远离对角线区域的点的概率分布。

由图 3 可知, 两条平行的直线方程分别为

$$g(x, y) = f(x, y) + a, g(x, y) = f(x, y) - b \quad (2)$$

其中: a, b 为 $0 \sim L-1$ 之间的正整数, 以与对角线垂直且过阈值分割矢量点 (s, t) 的直线作为目标和背景的分界线, 该垂直线方程为

$$g(x, y) = -f(x, y) + s + t \quad 0 \leq (s, t) < L-1 \quad (3)$$

直方图重新划分为四个区域 1、2、3、4, 其中区域 1、3 作为新的目标与背景参与运算。当 $g(x, y) \leq -f(x, y) + s + t$ 时属于区域 3, 当 $g(x, y) > -f(x, y) + s + t$ 时属于区域 1, 则图 3 中区域 1、3 发生的概率分别为

$$w_1(s, t) = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t p_{ij} \quad (4)$$

$$w_3(s, t) = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} p_{ij} \quad (5)$$

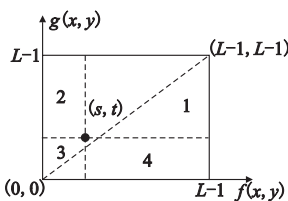


图2 直方图平面图形

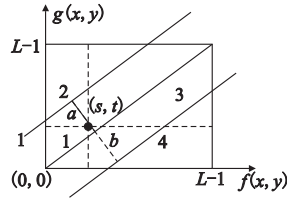


图3 新判决域划分图示

背景和背景对应的均值矢量为

$$\mu_1 = (\mu_{1i}, \mu_{1j})^T =$$

$$\left[\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t \frac{ip_{ij}}{w_1(s, t)}, \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t \frac{jp_{ij}}{w_1(s, t)} \right]^T \quad (6)$$

$$\mu_3 = (\mu_{3i}, \mu_{3j})^T =$$

$$\left[\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} \frac{ip_{ij}}{w_3(s, t)}, \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} \frac{jp_{ij}}{w_3(s, t)} \right]^T \quad (7)$$

二维直方图总的均值矢量为

$$\mu_Z = (\mu_{Zi}, \mu_{Zj})^T =$$

$$\left[\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} ip_{ij}, \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} jp_{ij} \right]^T = w_1 \mu_1 + w_3 \mu_3 \quad (8)$$

可以得到一个类间散测度:

$$S_B(s, t) = w_1(s, t) (\mu_1 - \mu_Z)^T (\mu_1 - \mu_Z) + w_3(s, t) (\mu_3 - \mu_Z)^T (\mu_3 - \mu_Z) \quad (9)$$

最佳阈值 (s^*, t^*) 满足式(10):

$$S_B(s^*, t^*) = \max \{ S_B(s, t) \} \quad (10)$$

1.2.2 粒子群优化改进的 Otsu 算法流程

设 t 时刻粒子 i 的位置为 $x_i(t)$, 速度为 $v_i(t)$, 最优位置为 $p_i(t)$, 全部粒子经过的最优位置, 即全局最优位置为 $g_i(t)$ 。

a) 初始化粒子群及参数。给定群体规模 N , 在平行线区域 (图 3) 内随机散落 N 个粒子, 并初始化每个粒子的位置 x_i 和速度 v_i , 设置最大迭代次数 $N_{\max}$ 。

b) 计算每个粒子的当前适应度值, 本文把图像的类型方差作为粒子群的适应度函数, 根据式(9)计算适应度值并选择最大的值作为初始寻优位置。

c) 更新个体极值和全局极值。对每个粒子的适应值进行评价, 即将第 i 个粒子的当前适应值与该粒子的个体最优极值 $p_{\text{best}}(t)$ 进行比较, 若前者优则更新 $p_{\text{best}}(t)$, 否则保持 $p_{\text{best}}(t)$ 不变; 从所有 $p_{\text{best}}(t)$ 中选出最优值 (本算法中选择最大值) 作为全局极值 $g_{\text{best}}(t)$ 。

d) 更新速度和位置。通过式(11)和(12)来更新每个子群体中粒子的速度 v_i 和位置 x_i , 当达到最大迭代次数或者全局最优满足收敛条件时终止。

$$v_{ij}(t+1) = wv_{ij}(t) + c_1 \text{rand}_1(1) (p_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2 \text{rand}_2(1) (p_{gj}(t) - x_{ij}(t)) \quad (11)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (12)$$

其中: t 表示第 t 代; w 为惯性权重, 本文取 $w(t) = 0.9 - (t/N_{\max}) \times 0.5$, $N_{\max} = 50$; c_1, c_2 为加速常数, 取 $c_1 \approx c_2 = 2.05$; $\text{rand}_1(1) - U(0, 1)$ 和 $\text{rand}_2(1) - U(0, 1)$ 为两个相互独立的随机函数。

2 多姿态下的人眼定位

2.1 形态学处理及标准化

因为光线、角度的原因, 分割图像在肤色区域会出现一些黑点; 非肤色部分还包含眼睛、鼻子等黑洞, 为了便于滤波操作, 本文首先采用膨胀和腐蚀的方法对肤色分割之后的图像进行处理; 然后将图像进行切割得到人脸的候选区域并标准化为 128×128 。

2.2 Gabor 滤波

本文构造一种椭圆 Gabor 滤波器^[2]对图像进行滤波, 因为 Gabor 滤波器只是对图像中的椭圆部位很敏感, 所以当人脸有小角度倾斜, 或者是眯眼、闭眼时, 也不会对滤波效果造成太大的影响。椭圆 Gabor 滤波定义为

$$Q(x, y) = q(x', y') \exp(2\pi j F \sqrt{x'^2 + y'^2}) \quad (13)$$

其中: $(x', y') = (x \cos \theta + y \sin \theta, -x \sin \theta + y \cos \theta)$; F 为滤波器的中心频率; $q(x, y)$ 是二维高斯包络函数, 定义为

$$q(x, y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \right) \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \quad (14)$$

其中: σ_x, σ_y 分别是 Gauss 函数包络线沿 x 轴、 y 的标准方差; (x, y) 表示滤波的位置; θ 指的是滤波器的旋转方向。这里只

考虑 σ_x 、 σ_y 、 F 三个参数,可以在一定程度上简化运算。实验证明,当 $\sigma_x = 3.7$ 、 $\sigma_y = 8$ 、 $F = 0.117\ 188$ 时可以取得很好的滤波效果。

2.3 灰度投影

得到滤波图像后,眼睛等区域亮度得到增强,利用这一点可以将灰度图像分别向 x 、 y 轴投影,选投影后的极大值作为眼睛区域的候选,最后综合对 x 、 y 轴投影的结果确定出人眼区域。

3 仿真结果与分析

3.1 仿真结果

本文在 MATLAB 环境下对肤色分割后的图像进行人眼定位实验,实验图像来源于实际环境下拍摄的彩色图像,包含 300(6 人 $\times$ 50 幅)幅不同背景、面部姿态,以及头部偏转的人脸图像。

经样本统计得图像均值和协方差分别为

$$m = E(x) = [104.4977 \quad 156.9277] \quad (15)$$

$$C = E((x-m)(x-m)^T) = \begin{pmatrix} 77.6869 & -51.4659 \\ -51.4659 & 81.9345 \end{pmatrix} \quad (16)$$

按照前面所述,取 $w(t) = 0.9 - (t/N_{\max}) \times 0.5$, $N_{\max} = 50$, $c_1 \approx c_2 = 2.05$ 。实验选取 50 幅 640×480 的图像,改进的 Otsu 算法平均运行时间为 29.595 s,而用粒子群算法进行优化后的平均时间为 2.146 s,分割结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出,本文引入粒子群算法,在时间上有了很大的改善,而且效果相当,说明了本文肤色分割的可行性。

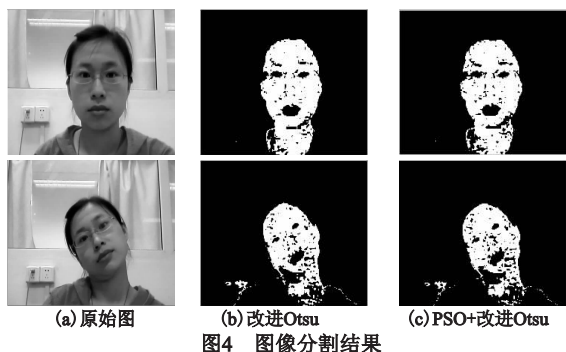


图4 图像分割结果

图 5 所示为部分仿真结果,分为三组,(a)(b)是同一背景下的不同姿态。(a)组有眼镜遮挡、挤眼、侧脸、歪头等动作;(b)组有闭眼、低头、仰头等不同姿态,可以看出,对于处理实际环境下连续拍摄的人脸图像,本文算法有很好的定位结果;(c)组选择在光线较暗且背景复杂的情况下进行定位,其中也包含了闭眼、仰头、扭头等动作,进一步说明本文算法不受复杂背景的影响。实验结果表明,本文在肤色分割的基础上,当背景相对复杂时,可以有效地去除眼镜的干扰;并且当人脸有小角度的旋转、不同姿态变化时也能准确地定位出人眼。不过当人脸受到强光、偏光照射时,分割效果会受到一定的影响,导致出现错误定位或者只能定位出一只眼睛。

3.2 与其他方法的比较

本文提出一种改进的肤色分割方法作为人眼定位的基础。实验结果显示,定位效果不受背景复杂和人脸多姿态的影响,比较适合实际环境下的人眼定位。表 1 为文献[3,4]与本文算法在自制人脸库中定位结果的比较。可以看到,本文算法时间上比文献[3]要慢一些,但是定位准确率高;而文献[4]在粗定位过程中选用最大熵方法容易出现很多干扰区域,导致在定

位时出现错误,所以整体的准确度不高。比较三种方法的实验结果可以知道,本文算法在保证较高识别率的同时,平均耗时也较少。

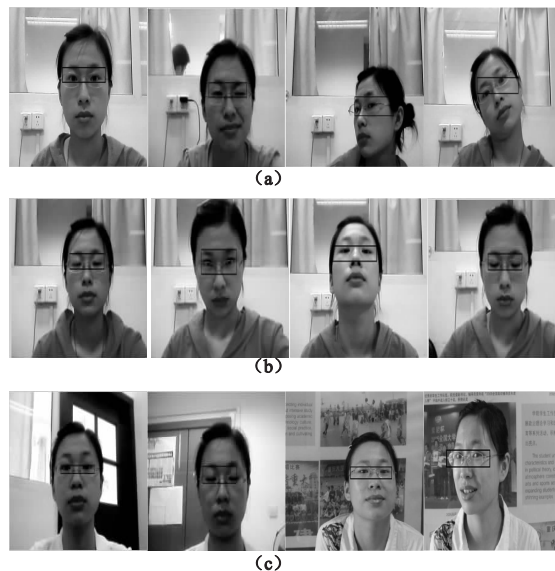


图5 肤色分割基础上的人眼定位结果

表1 三种方法的定位准确率与平均运行时间的比较

算法	定位准确率/%	平均运行时间/s
文献[3]	90.57	3.46
文献[4]	89.55	4.06
本文算法	92.19	3.89

4 结束语

人眼定位在人脸识别中起着重要的基础作用,本文针对一个人的眼睛定位提出了基于肤色分割和 Gabor 滤波的人眼定位方法。实验结果表明,本文所提出的肤色分割方法效果好,应用于人眼定位方面使得定位精确度高,尤其在复杂背景和多姿态的情况下也有着明显的优势。但是当人脸受到强光、偏光照射时,由于分割效果受到一定的影响,导致出现错误定位或者只能定位出一只眼睛,这一情况还需进一步研究解决。

参考文献:

- [1] KE Li, HUANG Yan. Eyes location based on dual-orientation Gabor filters and templates[C]//Proc of the 2nd IEEE International Congress on Image and Signal Processing. 2009;1-4.
- [2] ZHANG Yan-fang, SUN Nong-liang, GAO Yang. A new eye location method based on ring Gabor filter[C]//Proc of IEEE International Conference on Automation and Logistics. 2008;301-305.
- [3] LI Jian-ke, ZHAO Bao-jun, ZHANG Hui, et al. Dual-space skin-color cue based face detection for eye location[C]//Proc of IEEE International Conference on Information Engineering and Computer Science. [S. l.]: IEEE, 2009;1-4.
- [4] 王小鹏,闫国梁,闫文秀. 基于最大熵分割和肤色模型的人眼定位[J]. 计算机工程, 2010, 36(14): 161-165.
- [5] OTSU N. A threshold selection method from gray level histogram[J]. IEEE Trans on System, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [6] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization[C]//Proc of IEEE International Conference on Neural Networks. [S. l.]: IEEE, 1995;1942-1948.
- [7] 朱淑亮,王增才,王树梁,等. 头部多角度的眼睛定位与状态分析[J]. 重庆大学学报, 2010, 33(11): 20-26.