

# 基于最大熵分割和肤色模型的人眼定位

王小鹏, 闫国梁, 闫文秀

(兰州交通大学电子与信息工程学院, 兰州 730070)

**摘 要:** 人眼定位是进行虹膜识别、视线跟踪、眼睛状态分析等的首要任务, 为此提出一种基于最大熵分割和肤色模型的人眼定位方法。利用最大熵分割法对图像进行分割, 获得人眼候选区域。建立  $YC_bC_r$  肤色模型, 将其作为人眼定位的约束条件以排除非人眼区域, 通过形态学运算准确定位人眼。仿真实验表明, 该方法对人眼定位准确, 并对背景、头部偏转角度等细节具有较好的适应性, 运算速度较快。

**关键词:** 人眼定位; 最大熵分割; 肤色模型

## Eyes Location Based on Maximum Entropy Segmentation and Skin Model

WANG Xiao-peng, YAN Guo-liang, YAN Wen-xiu

(School of Electronic & Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070)

**【Abstract】** Eyes location is the priority of iris identification, eye tracking and state recognition. A method for eyes location based on maximum entropy segmentation and skin model is proposed. Image segmentation based on maximum entropy is used to segment the image and candidate regions of eyes are obtained.  $YC_bC_r$  skin model is built as constraint condition of eyes location, and morphological operations are used to obtain precise eyes location. Simulations show that this method can not only precisely and fast locate eyes position, but also adapt to process the image in different background, such as head existing rotation and image itself contain details.

**【Key words】** eyes location; maximum entropy segmentation; skin model

### 1 概述

目前人眼检测的方法有很多, 如文献[1-2]利用灰度投影法定位人眼。这种方法对人脸图像进行水平和垂直方向的投影, 根据波峰波谷的分布信息来定位眼睛, 定位速度快, 但由于不同的人脸其灰度信息分布具有较大差异, 因此该方法定位精度不高, 容易陷入局部最小而导致定位失败。文献[3-4]采用模板匹配法定位人眼。文献[5]在前人工作的基础上, 提出了感兴趣区的模板匹配方法。这种方法不需要大量的先验知识, 但计算量大并且对初始位置有要求。文献[6-7]利用 Gabor Eye 模型算法对人眼进行定位, 可以有效地克服非均匀光照和噪声影响, 但在人脸图像出现干扰眼眉区域图像频率的饰件(如眼镜、毛发和胡须)的情况下鲁棒性不强。通过双眼的对称相似度<sup>[8-9]</sup>进行人眼定位是一类有效的方法, 但对于眼睛张开程度较小或几乎没有张开的情况, 则定位准确性存在一定的局限性。文献[10]通过人脸图像边缘进行最小平方椭圆拟合依据, 根据眼睛宽度与高度比例确定眼睛候选区域。但无论哪一种定位方法, 大多有其相应的应用环境和局限性。

为提高人眼定位的准确性和速度, 使定位方法具有较强的适应性, 采用最大熵分割法对图像进行自适应阈值分割, 得到人眼候选区域。对原始彩色图像建立  $YC_bC_r$  高斯肤色模型, 将肤色区域和背景区域分开, 通过形态学运算排除伪人眼区域, 准确实现人眼定位。

### 2 基于最大熵分割的人眼粗定位

#### 2.1 最大熵分割法

最大熵阈值分割法<sup>[11]</sup>是利用图像的灰度特征来选择一个或多个最佳灰度阈值, 将图像中的像素点按照阈值进行分

类, 从而提取出特定目标的处理方法。一维最大熵阈值法以目标和背景所含的信息量之和最大作为选择分割阈值的标准。

熵是平均信息量的表征, 根据信息论, 熵的定义为

$$H = - \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \lg p(x) dx \quad (1)$$

其中,  $p(x)$  为随机变量  $x$  的概率密度函数。对于数字图像而言, 这个随机变量  $x$  是灰度极值、区域灰度和梯度等特征。

一维最大熵阈值分割法就是选择一个阈值, 使图像用这个阈值分割出的两部分的一阶灰度统计的信息量最大。设  $p_i$  为灰度级  $i$  出现的概率, 则  $p_i = n_i / (N \times N)$ ,  $i = 1, 2, \dots, L$ 。其中,  $N \times N$  为图像总像素数;  $n_i$  为灰度级  $i$  对应的像素数;  $L$  为图像的灰度级数。

对于数字图像, 定义图像灰度直方图中灰度级低于  $t$  的像素点构成的目标区域熵为  $H_1(t)$ ; 灰度直方图中灰度级高于  $t$  的像素点构成背景区域的熵为  $H_2(t)$ , 那么  $H_1(t)$  和  $H_2(t)$  可计算如下:

$$H_1(t) = - \sum_i (P_i / P_t) \lg (P_i / P_t), \quad i = 1, 2, \dots, t, \quad P_t = \sum_{i=1}^t P_i \quad (2)$$

$$H_2(t) = - \sum_i [P_i / (1 - P_t)] \lg [P_i / (1 - P_t)], \quad i = t+1, t+2, \dots, L \quad (3)$$

对图像中每一个灰度级分别求取熵函数  $H(t) = H_1(t) + H_2(t)$ , 将  $H(t)$  取得最大值时的  $H_{\max}(t^*)$  作为最大熵,

**基金项目:** 兰州市科技发展计划基金资助项目(2008-1-4)

**作者简介:** 王小鹏(1969 - ), 男, 教授、博士, 主研方向: 图像分析与识别, 多媒体信息处理; 闫国梁、闫文秀, 硕士研究生

**收稿日期:** 2010-03-02 **E-mail:** wangxp1969@sina.com

其对应的灰度值  $t^*$  则为所求的最大熵分割阈值。

## 2.2 人眼粗定位

进行人眼粗定位时, 首先将彩色图像转为灰度图像, 然后对图像中的每个灰度级进行求最大熵运算, 根据求得的阈值  $t^*$  对图像进行分割。针对光照不均衡的情况, 对图像进行光线调整的预处理。线性光照补偿技术的主要步骤如下:

(1)按照公式  $Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$  计算图像中所有像素的亮度。

(2)取亮度大于  $255 \times 95\%$  像素, 并统计其数目  $Num$ , 记像素集为  $S$ 。

(3)如果  $Num$  充分大, 则确定 3 个加权因子  $a$ 、 $b$ 、 $c$ , 使得  $S$  中的所有像素, 满足  $R \times a = 255$ ,  $G \times b = 255$ ,  $B \times c = 255$ 。

(4)对于该图像中的每个像素  $q$  进行调整:  $R_{(q)} = R_{(q)} \times a$ ,  $G_{(q)} = G_{(q)} \times b$ ,  $B_{(q)} = B_{(q)} \times c$ 。

上述步骤实际上就是选取图像中最亮的像素对光源颜色进行估计, 求出光源颜色到白色的映射, 然后利用映射来调整全部像素, 达到提升图像整体亮度的目的。

针对图像过暗的情况进行线性光照补偿。对于图像过亮的情况, 则首先对其取反, 然后进行线性光照补偿, 最后再将预处理后的图像取反还原, 得到补偿图像。

对不同背景条件下的人脸图像进行分割后的效果表明, 通过最大熵分割可以很好地将双眼区域分割出来, 但同时仍存在一些人眼区域, 如人脸中的胡须、双眉区域、鼻孔阴影以及嘴唇等区域。为此, 需要对这些非人眼区域进行进一步的去除, 从而实现人眼准确定位。

## 3 基于 $YC_bC_r$ 肤色模型的人眼准确定位

由最大熵分割效果分析可知, 人眼区域被标记为黑色区域, 同时存在大量的背景信息。在正面人脸图像中, 人眼周围均为皮肤, 建立肤色模型<sup>[12]</sup>并通过形态学滤波可以将人眼区域与背景分开, 去除伪人眼区域, 从而准确定位人眼。

### 3.1 $YC_bC_r$ 肤色模型

在  $YC_bC_r$  色彩空间( $Y$  表示亮度,  $C_b$  表示蓝色差,  $C_r$  表示红色差)中肤色呈现良好的聚类性, 肤色与  $Y$  (亮度)几乎没有关联, 聚类性主要集中在色度分量。建立简单高斯模型, 假定肤色分布服从单峰高斯分布, 通过统计分析预测高斯模型的参数(即均值及方差), 通过模型判定像素是否属于肤色区域。从 RGB 色彩空间转换到  $YC_bC_r$  色彩空间的公式如下:

$$\begin{cases} Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ C_b = 0.713(R - Y) + 128 \\ C_r = 0.564(B - Y) + 128 \end{cases} \quad (4)$$

在  $C_b$ 、 $C_r$  二维色度平面上建立简单高斯模型, 计算每个像素属于肤色的概率, 即根据该点离高斯分布中心的远近得到和肤色的相似度, 得到肤色似然图, 图中每个像素的灰度值表征像素属于肤色的概率。计算公式如下:

$$p(C_bC_r) = \exp[-0.5(x - m)^T C^{-1}(x - m)] \quad (5)$$

其中,  $m$  为均值;  $C$  为协方差矩阵;  $x = (C_bC_r)^T$ ;  $C = E\{(x - m)(x - m)^T\}$ 。

### 3.2 人眼准确定位

本文采用固定阈值方法将肤色似然图二值化, 设置阈值为 0.5, 似然图中灰度值大于 0.5 的区域设定为“1”(白色)即肤色区域; 灰度值小于 0.5 的区域设定为“0”(黑色)即背景区域, 得到肤色区域。对肤色区域进行形态学膨胀运算和

孔洞填充<sup>[13]</sup>, 得到封闭的肤色区域, 则人眼区域必然处于封闭的肤色区域之内。接着进行取反运算, 将人眼区域以及胡须等伪人眼区域均转换为白色区域。保留肤色区域之内的白色区域, 并计算其区域面积, 并设定面积阈值, 其大小通常依据人脸所占图像面积比例而定(实验中约为 20 像素~100 像素), 太小或太大的区域则判定为伪人眼区域加以删除, 剩余部分则为双眼区域。用蓝色矩形框对双眼区域在原图像中进行标记后即最终定位结果。

## 4 仿真实验结果及分析

为了验证方法的有效性, 在 Matlab 环境下对实验用的人脸库进行了仿真实验。人脸库中包括网络下载和拍摄的不同背景、性别、面部姿态, 以及头部偏转的人脸图像共 450 张。图 1(a)~图 1(e)为不同背景、光照、性别、头部存在偏转角度、面部姿态的人脸图像, 双眼区域用矩形框标记。

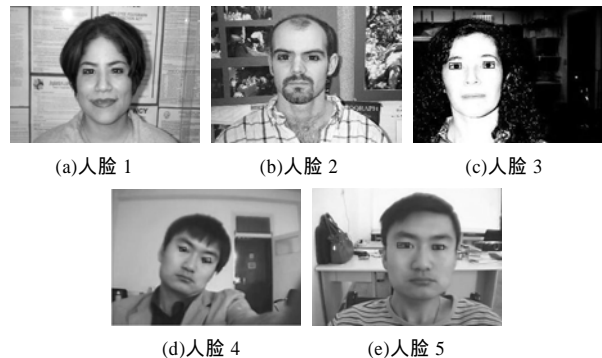


图 1 不同背景条件下的人眼定位效果

本文提出的人眼定位方法包括利用最大熵分割对双眼进行粗定位, 运用肤色模型及形态学滤波对双眼进行准确定位。在验证最大熵分割的有效性时, 提出了双眼检测率性能指标。双眼检测率是指在进行最大熵分割后, 图像中包含双眼区域的样本数占实验样本总数的百分比。实验中 443 张图像在最大熵分割后, 可以得到双眼区域, 双眼检测率为 98.4%。验证方法有效性时, 采用双眼定位准确率指标。双眼定位准确率是指原始彩色图像通过本文方法最终准确定位双眼的样本数占实验样本总数的百分比。实验中 419 张图像通过本文方法准确定位双眼, 双眼定位准确率达到 93.1%。由实验分析得知, 双眼定位准确率比双眼检测率低的原因是在实验的人脸定位中, 由于图像中存在类似肤色区域, 采用肤色模型作为双眼定位约束条件不能有效排除非人眼区域, 降低了双眼定位准确率。

采用不同的算法对人脸库进行仿真实验, 人眼定位准确率及平均运算时间结果如表 1 所示。

表 1 算法结果比较

算法	样本总数	准确定位人眼数	人眼定位准确率/(%)	平均运算时间/s
灰度投影法	450	364	80.9	1.03
Gabor 变换法	450	414	92.0	1.79
模板匹配法	450	392	87.1	1.57
对称相似度算法	450	378	84.0	1.49
本文方法	450	419	93.1	1.13

可以看出, 本文方法的运算时间比灰度投影法略慢, 但双眼定位准确率高于灰度投影法。与 Gabor 变换法相比, 本文方法定位准确率略高, 但运算时间减少。由此可知, 本文方法对双眼定位准确率高、运算速度快, 并对不同背景、头部偏转角度等细节具有很好的适应性, 但对于图像中色彩较为一致的场合, 该方法有一定的局限性。(下转第 165 页)