

非均匀光照下的人脸表情多状态检测与分类^{*}

李 英^{1,2}, 赖剑煌³, 阮邦志⁴, 黄琼燕^{1,5}

(1 中山大学数学与计算科学学院, 广东 广州 510275;

2 广东外语外贸大学信息学院, 广东 广州大学城 510006;

3 中山大学电子与通信工程系 // 广东省信息安全重点实验室, 广东 广州 510275;

4 香港浸会大学计算机系, 香港 九龙塘;

5 广东工业大学应用数学学院, 广东 广州大学城 510006)

摘 要: 提出了一个用改进的不易受光照影响的 ASM (Illumination Insensitive Active Shape Model 简称 I-ASM 方法) 进行眼睛和嘴巴轮廓检测以及用组合方法进行眼睛和嘴巴状态分类的算法。对有丰富表情的人脸图像进行实验, 结果表明, 提出的算法即使在非均匀光照下也能取得较好的轮廓检测和状态分类结果。

关键词: 轮廓检测; 眼睛状态; 嘴巴状态; ASM

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2006) 05-0017-05

人脸表情丰富多样, 有微笑, 惊讶, 生气, 发呆等等。就状态而言, 眼睛可分为睁眼和闭眼; 嘴巴可分为张大、微笑、O 型 (惊讶时) 和紧闭。眼睛和嘴巴作为人脸的两个重要部件, 包含了相当丰富的表情信息, 它们的轮廓检测和状态分类在智能人机交互中有相当大的应用价值。

ASM^[1-2] 是目前非常流行的定位物体和检测特征点和轮廓的方法。它是一个基于统计学的、灰度和形状分离的可变形模型。形状由点的集合表示, 通过模型的变形使得 ASM 与图像的目标形状吻合。具体的定位采用形状模型和模型上点的局部灰度分布相结合的方法来实现, 而相似度的计算则是通过利用模型上点的当前局部灰度分布和经验灰度分布匹配的加权和来表示。达到最佳匹配时, 待检测图像的 shape 模型参数和模型上每点的局部灰度分布参数也就同时确定。标准 ASM 方法有 3 个问题: ① 仅由局部灰度分布度量形状的相似性易受非均匀光照影响; ② 在迭代搜索形状的过程中最优匹配的条件不易确定; ③ 易陷入局部极值。本文提出 I-ASM 方法将采取相应策略对标准 ASM 进行改进并用于眼睛和嘴巴的轮廓检测。

在判断眼睛的睁闭状态方面, Tian 等^[3] 用边缘和半圈虹膜掩模的方法; Liu 等^[4] 进一步使用饱和度和边缘的方法检测。在光照条件好的情况下, 边缘^[3] 或饱和度^[4] 的方法可获得很好结果。但在非均匀光照下, 边缘信息不稳定; 饱和度受光照的

影响也很大。因此单一地用边缘或饱和度的方法去检测眼睛状态, 抗光照影响能力必然低。本文用 5 种方法检测开眼和闭眼状态, 即灰度模板匹配方法、水平投影方法、找眼睛上眼睑方法、用 Hough 变换找眼珠方法、垂直方差投影方法。最后通过对这 5 种方法进行组合来提高抗光照影响能力, 提高检测准确率。本文也采用一种基于灰度模板方法、支持向量机方法、嘴巴几何特征分类和嘴巴内轮廓区域灰度分类的组合方法分类张大、微笑、O 型 (惊讶时) 和紧闭四种嘴巴状态。

1 人脸表情多状态检测与分类算法的框架

输入一幅人脸图像, 首先用我们以前开发的肤色区域分割算法进行人脸检测和稳定的人脸特征点 (比如眼角点和嘴角点) 检测^[5]。在眼睛和嘴巴所在区域皆被检测的前提下, 本文工作分 2 大部分: 轮廓检测和状态分类。这两部分互相关联, 无绝对先后顺序。对于眼睛, 由于开闭眼的眼睛形状结构差异大, 一个是由上下眼睑和眼珠形成的曲线而另一个则可近似为一线段, 检测轮廓时应区分对待, 所以状态分类在前, 轮廓检测在后。而对于嘴巴, 可用统一的模型描述形状, 所以先检测轮廓, 后分类状态。图 1 为算法框架。图 2 为 2 种眼睛状态和 4 种嘴巴状态。

* 收稿日期: 2005 10 24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60373082); 教育部科学技术研究重点项目 (105134)

作者简介: 李英 (1980 年生), 女, 博士, 通讯联系人: 赖剑煌, E-mail: stslh@mail.sysu.edu.cn

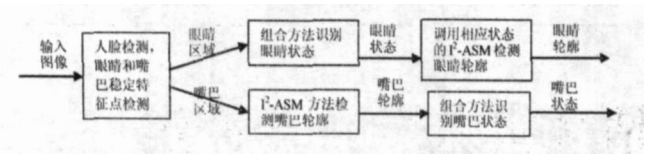


图 1 本文算法的框架

Fig. 1 Main flow chart of the proposed method



图 2 两种眼睛状态(开闭)和四种嘴巴状态(张大、微笑、O型(惊讶时)和紧闭)

Fig. 2 Two eye states (open & closed) and four mouth states (widely open, smiling, “O” shape and tightly closed)

2 I-ASM 算法

标准的 ASM 方法易陷入局部极值且仅由局部灰度分布度量形状的相似性易受非均匀光照的影响。I-ASM (Illumination Insensitive - Active Shape Model) 方法提出相应策略进行改进。

2.1 加入纹理特征的 I-ASM 建模过程

I-ASM 的建模包括 3 部分: 形状建模, 改进的局部灰度建模, 新增的局部纹理建模。

2.1.1 形状模型 与标准 ASM 一样, 对标上 n 个特征点的 N 幅训练图像进行主分量分析, 得到形状模型。

2.1.2 改进的局部灰度模型 对于每个特征点 j 在第 i 幅图像上通过该特征点, 沿着边缘法向分别在特征点两边取 k 个像素点的灰度值, 得到一个 $2k+1$ 维的灰度值向量:

$$g_{ij} = (g_{ij1}, g_{ij2}, \dots, g_{ij(2k+1)})^T \tag{1}$$

在本文 I-ASM 里, 为减少光照影响, 不直接取像素点的灰度值, 而是以像素点为中心截取 3×3 的窗口, 把窗口灰度的平均值作为该点的灰度值。得到灰度值向量, 仍记为 g_{ij} 。

求 g_{ij} 的差分并标准化:

$$\Delta g_{ij} = (g_{ij2} - g_{ij1}, g_{ij3} - g_{ij2}, \dots, g_{ij(2k+1)} - g_{ij(2k)})^T, \tag{2}$$
$$z_j = \Delta g_{ij} / (\sum_{i=1}^{2k} |\Delta g_{ji}|)$$

于是得到对应于特征点 j 的局部灰度模板:

$$\bar{z}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{ij}, S_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (z_{ij} - \bar{z}_j)(z_{ij} - \bar{z}_j)^T \tag{3}$$

2.1.3 新增的局部纹理模型 为减少光照的影响, 更准确地锁定目标, 本文在上面提到的 3×3 的窗口

中提取纹理信息, 纹理特征计算公式为:

$$T = \sum_{g=1}^G (H_g - M/G) G^{1/2} [H_g(1 - H_g/M) + M(1 - 1/G)]^{-1/2} \tag{4}$$

其中, M 是窗口内部的像素个数, G 是灰度级的个数。 H_g 是某灰度级 g 的总个数。将法线上每一点对应的 T 值记录下来, 记为 $T_{ij} = (T_{ij1}, T_{ij2}, \dots, T_{ij(2k+1)})^T$ 。

计算对应特征点 j 的局部纹理模板:

$$T_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{ij} TCOV_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{ij} - T_j)(T_{ij} - T_j)^T \tag{5}$$

2.2 防止陷入局部极值的 I-ASM 搜索过程

1) 初始化形状。

2) 对于第 j 个特征点, 在法线上寻找最佳移动位置使得融合了局部灰度和纹理特征的新决策函数 $f_j(q) = (h(q) - \bar{z}_j)^T S_j^{-1} (h(q) - \bar{z}_j) + w_j(T(q) - T_j)^T TCOV_j^{-1} (T(q) - T_j)$ 最小。得到新形状。

3) 若是眼睛, 跳到 4); 若是嘴巴, 跳到 5)。

4) 对眼睛的新形状进行如下约束防止陷入局部极值: ①若是开眼, 则新形状的眼珠位置应该在用 Hough 变换找出的眼珠位置附近, 否则眼珠上的特征点容易在眼睑或其他边缘位置停住; ②眼珠虽然可以上下左右转动, 无固定位置, 但其必须在上下眼睑形成的圈内。若不满足以上约束, 重新初始化眼珠位置继续搜索。

5) 更新姿态参数和形状参数, 继续迭代搜索。

2.3 I-ASM 对标准 ASM 的改进

I-ASM 方法考虑到标准 ASM 方法易受非均匀光照的影响且易陷入局部极值, 它对标准 ASM 的改进在于: ①改进了局部灰度模型, 添加了局部纹理模型; ②新决策函数融合了局部灰度和纹理特征, 使搜索得到的轮廓和真实轮廓的局部特征更加匹配; ③对于眼睛的新形状, 用眼珠位置进行约束, 以防陷入局部极值; ④最优形状的选择。标准 ASM 迭代搜索的停止条件是: 特征点的移动幅度小于给定阈值, 或达到最大迭代次数。实验发现, 迭代停止时获得的最终形状有时并非最佳, 与真实图像最吻合的轮廓可能在中间迭代中出现。为此, I-ASM 考虑衡量当前轮廓与真实边缘轮廓之间相似性的 Hausdorff 距离, 每次迭代都计算此距离, 最后选择最小距离所对应的形状作为最优的形状。Hausdorff 距离请参见文 [6]。

3 眼睛状态分类和轮廓检测

3.1 组合方法检测眼睛状态

本文应用 5 种方法去检测开眼和闭眼状态, 即灰度模板匹配的方法、水平投影的方法、找眼睛上眼睑的方法、用 Hough 变换找眼珠的方法、垂直方差投影的方法。

这些方法各有千秋。比如说, 灰度模板匹配的方法易受光照条件的影响, 鉴别不太精细, 不宜用于区分半睁眼和闭眼; 用 Hough 变换找眼珠的方法的有效性依赖于边缘检测的好坏; 找眼睛上眼睑的方法和垂直方差投影的方法仅是一种确定开眼的方法; 水平投影的方法也只能判断具有某种特征的眼睛是开的或闭的, 其他不具有这个特征的眼睛, 无

法用该方法判断。

所以关键问题是如何将这些方法组合以提高检测准确率。图 3 是本文组合算法的流程图。对一组算法而言, 可能的组合方案多种多样, 本文提出的方案优越性在于: ①将诸如 Hough 变换找眼珠、投影等直接基于眼睛明显特征的精细方法用在前, 而将灰度模板等非直接基于眼睛明显特征的不太精细的方法用在后, 保证中间环节出错率最小全局准确率最大; ②在精细方法的运用中, 对可能是闭眼的直接用针对闭眼设计的投影等方法, 可减少运算量。

其中灰度模板匹配的方法、水平投影的方法、找眼睛上眼睑的方法、用 Hough 变换找眼珠的方法的详细原理和算法设计请参见文[7], 下面介绍垂直方差投影的方法。

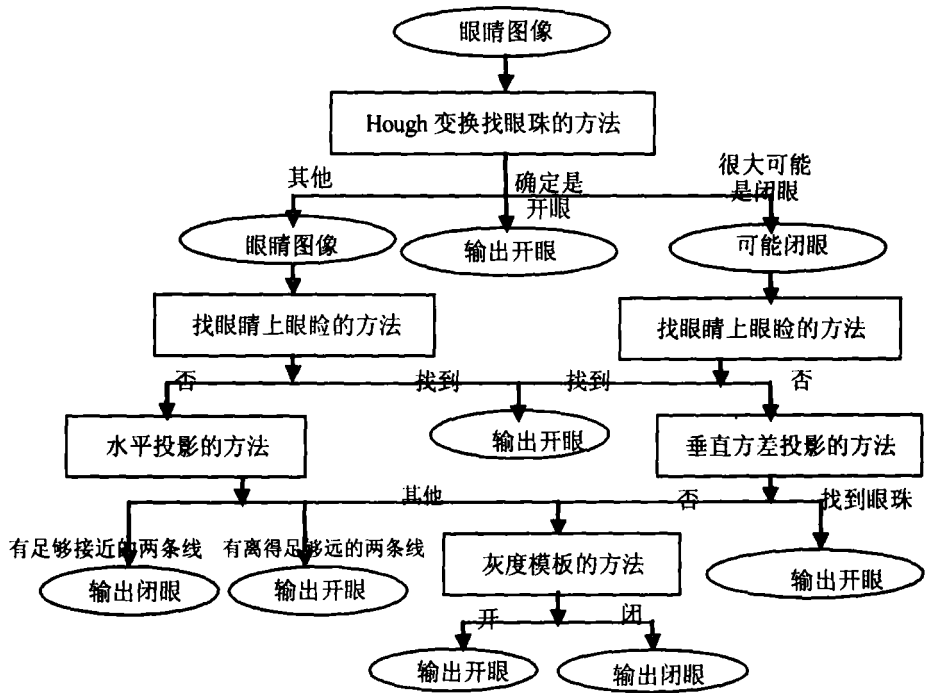


图 3 眼睛状态检测的组合算法流程

Fig 3 Flow chart of combined method for eye states detection

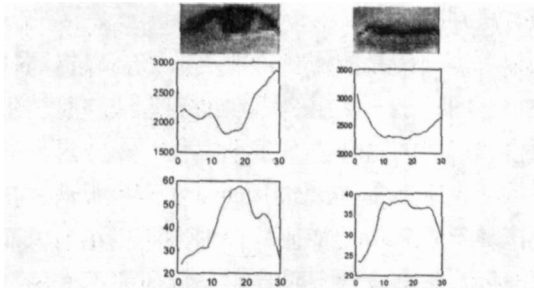
3.1.1 垂直方差投影方法的原理 如果一个眼睛是开眼的话, 眼珠的存在使得: ①灰度的垂直投影图里, 眼珠所在的位置有一个足够低且宽度不能太大的谷; ②灰度的垂直方差投影图里, 眼珠所在的位置有一个足够高且宽度不能太大的峰。见图 4(a)。注意到, 如果眼睛是闭眼的话, 这 2 个性质不能同时满足, 见图 4(b)。其中, 假设灰度图像为 $[x_{ij}]_{m \times n}$, 则它的垂直投影图和垂直方差投影图分别为:

$$VPImage = [vp_j = \sum_{i=1}^m x_{ij}]_{1 \times n}$$

$$VarImage = \left[v_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \frac{vp_j}{m})^2 \right]_{1 \times n} \tag{6}$$

3.1.2 垂直方差投影方法的算法

- 1) 将眼睛的灰度图进行垂直投影和垂直方差投影。
- 2) 分析垂直投影图, 看看有没有一个足够低的谷, 并且这个谷不能太宽。再分析垂直方差投影图, 看看有没有一个足够高的峰, 并且这个峰不能太宽。如果都有, 则认为这个眼睛是开眼。否则, 不能判断这个眼睛是开眼, 需其他方法配合分析。



4 眼睛图像和它们的垂直投影图、垂直方差投影图
(a) 开眼 (b) 闭眼

Fig 4 Eyes and their vertical projections vertical variance
omation images (a) For open eye (b) For close eye

3.2 I^2 -ASM 检测眼睛轮廓

对于眼睛，因开闭眼形状结构差异大，故应建立 2 个模板：开眼和闭眼 I^2 -ASM 模板，如图 5(a) 所示。在用 I^2 -ASM 方法检测眼睛轮廓前，先进行状态分类，后调用相应的模板。



图 5 (a) 开眼和闭眼 I^2 -ASM 模板;
(b) 嘴巴 I^2 -ASM 模板

Fig. 5 I^2 -ASM models for open eye closed eye and mouth

4 嘴巴轮廓检测和状态分类

4.1 I^2 -ASM 方法检测嘴巴轮廓

对于嘴巴，无论是张大、微笑、O 型 (惊讶时) 还是紧闭的嘴，都可用统一的模型去描述形状，所以不必细分状态建立 I^2 -ASM 模板。图 5(b) 为嘴巴 I^2 -ASM 模板。

4.2 组合方法检测嘴巴状态

本文采用基于灰度模板匹配方法、支持向量机方法^[8]、嘴巴几何特征分类和嘴巴内轮廓区域灰度分类的组合方法对图 2 中 4 种状态的嘴巴进行分类。图 6 为检测的流程。

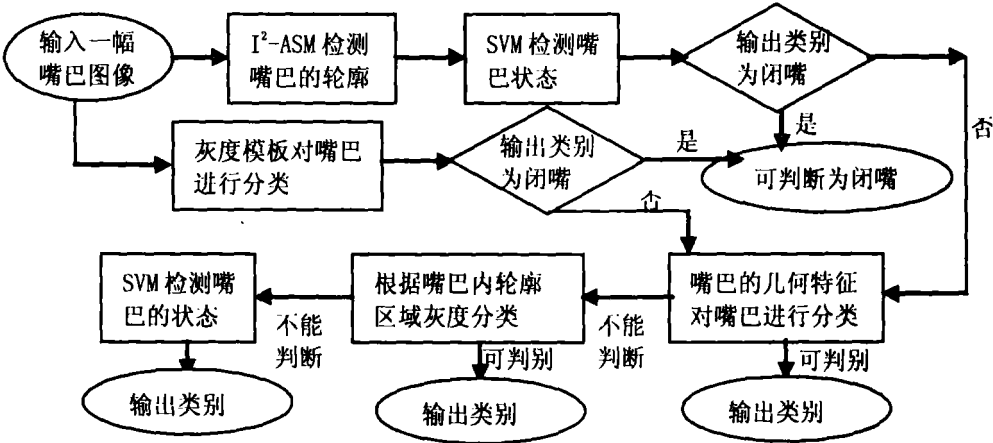


图 6 嘴巴状态检测的组合算法流程

Fig. 6 Flow chart of combined method for mouth states detection

对于灰度模板匹配方法，关键是要对齐嘴巴图像并建立 4 类嘴巴的灰度模板；对于支持向量机方法，以 I^2 -ASM 方法计算得到的嘴巴形状参数向量为分类数据进行分类；对于嘴巴的几何特征分类方法，根据嘴巴的几何参数 (嘴巴长度、嘴巴内外轮廓宽度等) 进行分类；对于嘴巴内轮廓区域灰度分类方法，通过计算嘴巴内轮廓区域的平均灰度值和面积来分类。

5 实验

本文对由 Omron 公司提供的非均匀光照下的人脸图像进行眼睛和嘴巴的轮廓检测和状态分类。这些人脸图像大小均为 320×240 且为正面图像。

共有 800 幅图进行训练和测试。

这些人脸有多种表情，眼睛可分为开闭眼；嘴巴可分为张大、微笑、O 型和紧闭。具体地说，有 150 幅是闭眼，650 幅是开眼。为对图像进行分析，我们从中随机选取 50 幅闭眼，50 幅开眼作为眼睛的训练集；剩下的 600 幅开眼里，嘴巴为张大、微笑、O 型、紧闭的各 150 幅，从中随机选取 200 幅 (4 种嘴巴各 50 幅) 做嘴巴的训练图。剩余 100 幅闭眼和 400 幅开眼共 500 幅图为测试集。对于训练图像，对于开着的眼睛，我们在轮廓上手工点出 12 个特征点，这些点的坐标就是实验中用到的形状；闭眼点出 5 个特征点；嘴巴点出 20 个特征点。表 1 是实验结果表，由此可见 I^2 -ASM 方法的有效。

其中标准的眼睛 ASM 是不分眼睛状态的, 由于开、闭眼的形状结构不一样, 无论是用开眼模板去检测闭眼轮廓, 还是用闭眼模板去检测开眼轮廓, 其检测结果皆无意义。表 1 中标准 ASM 对开眼和闭眼的轮廓检测正确率 80%和 90%分别是用开眼模板去检测开眼、闭眼模板去检测闭眼得到的结果。

表 1 眼睛和嘴巴的轮廓检测和状态分类结果表

Tab. 1 Contour detection and states estimation accuracy for eyes and mouths

类型	眼睛		嘴巴			
	开眼	闭眼	张大的嘴	微笑的嘴	O型的嘴	紧闭的嘴
训练图个数	50	50	50	50	50	50
测试图个数	400	100	100	100	100	100
状态检测正确率	94%	96%	80%	78%	73%	88%
标准 ASM 轮廓检测正确率	80%	90%	75%	76%	85%	72%
I ² -ASM 轮廓检测正确率	90%	95%	81%	80%	89%	84%

6 结 语

从实用性的角度而言, 任何数字人像技术的研究都应该考虑对光照因素的鲁棒性。本文报告了一个用不易受光照影响的 I²-ASM 方法进行眼睛和嘴巴轮廓检测以及用组合方法进行状态分类的算法。实验结果表明, 该算法在非均匀光照下取得较好结果。

参考文献:

[1] COOTES T F, TAYLOR C J, COOPER D H, et al. Active Shape Models – Their Training and Application [J]. Computer Vision and Image Understanding 1995, 61(1): 38 – 59.

[2] WISKOTT L, FELLOUS JM, KRUGER N, et al. Face Recognition by Elastic Graph Matching [J]. PAMI 1997, 19(7): 775 – 779.

[3] TIAN Y L, KANADE T, COHN J F. Dual-state parametric eye tracking [C]. FG’ 2000, Grenoble, France, 2000, 110 – 115.

[4] LIU H, WU Y W, ZHA H B. Eye state detection from color facial image sequence [C]. Second International Conference on Image and Graphics, Hefei, China, 2002, 693 – 698.

[5] YUEN P C, LAI J H, HUANG Q Y. Mouth state estimation in mobile computing environment [C]. FG’ 2004, Seoul, Korea, 2004, 705 – 710.

[6] CSASZAR A. General Topology [M]. Bristol: Adam Hilger, 1978.

[7] 李英, 赖剑煌, 阮邦志. 眼睛状态检测的组合方法 [J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(10): 1140 – 1145.

[8] VAPNIK V N. The Nature of Statistical Learning Theory [M]. NY: Springer-Verlag, 1995.

Eye and Mouth Contours and States Detection in Facial Images with Diverse Expressions under Nonlinear Illumination

LI Ying^{1, 2}, LAI Jian-huang³, YUEN Pong-chi⁴, HUANG Qiong-yan^{1, 5}

- (1. School of Mathematics and Computing Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China
2. School of Informatics, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510006, China
3. Department of Electronics and Communication Engineering//Guangdong Province Key Laboratory of Information Security, Guangzhou 510275, China
4. Computer Science Department, Hong Kong Baptist University, Hong Kong, China
5. Faculty of Applied Mathematics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract An improved ASM method which is named I²-ASM (Illumination Insensitive – Active Shape Model), is proposed to detect contours of eyes and mouths; meanwhile, combined methods are carefully designed and applied to detect eye and mouth states. Experiments, which are done with hundreds of facial images with diverse expressions, turn out satisfactory results. Both the contour detection algorithm and the states detection algorithm are verified to be effective even if the illumination is nonlinear.

Key words contour detection, eye states, mouth states, ASM