

基于肤色 HSV 颜色模型下的人脸实时检测与跟踪

崔昌华, 朱敏琛

(福州大学数学与计算机科学学院, 福建 福州 350002)

摘要: 提出用于视频电话、监视与监控等场合的人脸实时检测跟踪方法. 首先运用差分图像快速提炼出运动物体的外接矩形, 消除背景对肤色检测的影响, 缩小肤色搜索的范围; 然后利用肤色在空间的聚类特性检测人脸, 利用 HSV 颜色模型中的色调 H 的范围抽取肤色, 去除亮度对肤色的影响. 实验表明, 这种检测和跟踪方法是快速有效的, 与单独运用 HSV 方法相比它能更好地处理背景对肤色的影响.

关键词: 差分图像; HSV 模型; 人脸跟踪

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

Real-time human face detection and tracking based on HSV model space of skin color

CU I Chang-hua ZHU M in-chen

(College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract A real-time human face tracking method is presented in the visual telephone, monitoring and controlling occasions. The rectangular outline of the moving object can be abstracted quickly using the difference image without background noise to the skin-color detection, and the skin-color searching area can be reduced. Then cluster properties in the skin-color space are applied on human face detection, using the hue in HSV color space to abstract the skin-color without brightness noise.

Keywords difference image; HSV model; human face tracking

人脸检测与跟踪是指在输入图像中确定所有人脸的位置、大小的过程. 目前人脸检测的方法大致分为基于知识的方法、特征不变方法、模板匹配的方法和基于外观的方法 4 大类. 基于知识的方法存在的问题是很难将人类知识转换为明确定义的规则; 模板匹配、特征不变和基于外观^[1-3]这 3 种方法都要对脸部区域进行匹配, 而且往往通过迭代进行寻优, 所需的运算都很大, 不易实现实时检测和跟踪. 考虑到人的皮肤颜色分布与其它物体的颜色分布一般不同, 而且不同物体的颜色除了受光照的影响较大外, 与物体的大小、伸缩及姿态基本上无关, 因此, 采用人的皮肤颜色模型作为人脸位置的粗定位, 就成为目前人脸检测与跟踪研究的主要方法. 本文在对人的皮肤颜色特征进行研究后, 同时利用人的皮肤颜色在 RGB 颜色空间及 HSV 颜色空间的分布特点, 结合差分图像的方法, 提出一种在复杂背景下人脸检测与跟踪的方法.

1 人脸肤色分布模型

要检测不同种族、性别及年龄的人脸, 选择一种适应面较广的颜色模型是很重要的. 经研究发现人的皮肤颜色在 RGB 颜色空间中分布在很小的一个范围内. 但是, 由于亮度的影响, 不同光照条件下的皮肤颜色是不一样的. 虽然归一化 RGB 模型能够减小亮度的影响, 但由于同样受亮度影响的色彩饱和度没有从该模型中分离出来, 因此该模型仍然对亮度的变化较敏感. 为此, 许多其它的颜色模型相继用

收稿日期: 2006-03-31

作者简介: 崔昌华 (1976-), 男, 研究生; 通讯联系人: 朱敏琛, 副教授.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目 (A0510010)

于人的皮肤的分割研究, 如 CIEab_L, CIEuv 及 HSV 等. 然而根据显示研究显示^[4-5], 笔者发现 HSV 颜色模型更加接近于人对颜色的感知. 因此, 本文将使用 HSV 颜色模型作为皮肤颜色分类的特征空间.

RGB 颜色模型到 HSV 颜色模型的变换公式如式 (1).

$$\begin{cases} H_1 = \cos^{-1} \frac{0.5[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \\ H = \begin{cases} H_1 & (B \leq G) \\ 360^\circ - H_1 & (B > G) \end{cases} \\ S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \\ V = \frac{\max(R, G, B)}{255} \end{cases} \quad (1)$$

其中: 色调 H (Hue) 为检测肤色的主要依据, 主要是因为 H 较不容易受到光线的强弱的影响; S 代表颜色中的饱和度 (Saturation), 其值在 0 到 1 之间; V 代表颜色的明暗度 (Value), 其值在 0 到 1 之间. 由于皮肤颜色在 HSV 色彩空间中呈现如图 3 所示^[5]的分布 (其中 S 和 V 是由式 (1) 所计算出的标准值放大 100 倍), 可以很清楚的看出肤色是分布在某一个特定的区域中. 式 (2) 的组合可定义出肤色在 HSV 中的子集合. 原图像如图 1 所示, 图 2 是根据式 (2) 的肤色范围提取的肤色区域.

$$\begin{cases} S \geq 10 \\ V \geq 40 \\ S \leq -H - 0.1W + 110 \\ H \leq -0.4V + 75 \\ S \leq \begin{cases} 0.08(100 - V)H + 0.5V & (H \geq 0) \\ 0.5H + 35 & (H < 0) \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$



图 1 原图像
Fig. 1 Original image

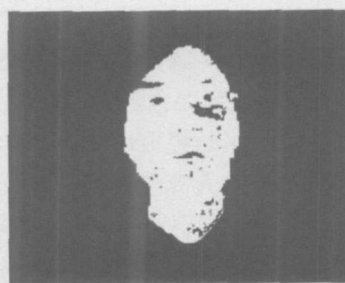


图 2 肤色区域
Fig. 2 Skin regions

2 差分图像方法提取运动目标^[4]

虽然人的肤色具有聚类特性, 能够区别一般的物体, 但有时背景中会存在某些场景与人的肤色相近, 而且某些噪声偶尔也会被误认为肤色区域. 如果能先提取出运动物体, 就可以把静止的场景先排除掉, 然后在运动区域中进行肤色判断, 这样能有效地排除背景与噪声的干扰. 运动物体的检测有光流法和图像差分法, 一般说来光流法耗时较大, 不利于实时检测. 而图像差分法比较简单、速度快, 在运动目标检测上被广泛应用.

检测运动区域最简单的方法是帧间差阈值法. 假设在 T 时刻, 图像在 (x, y) 像素处的 RGB 值为 $RGB(x, y, T)$; 在 $T + 1$ 时刻, (x, y) 像素处的灰度值变化为 $RGB(x, y, T + 1)$, 则在 $T + 1$ 时刻与 T 时刻 (x, y) 像素处的 RGB 值的差是:

$$\Delta_{RGB} = |RGB(x, y, T) - RGB(x, y, T + 1)| \quad (3)$$

其中 $RGB(x, y, T)$ 表示像素点 (x, y) 在 T 时刻 RGB 的 3 个分量的值. 一般情况下, 静止区域像素的 R, G, B 值的变化要小于整个图像 R, G, B 变化的平均值. 设 N 和 M 分别表示图像的宽度和高度, 则图像 R, G, B 3 个分理变化的平均值 θ_{RGB} 为

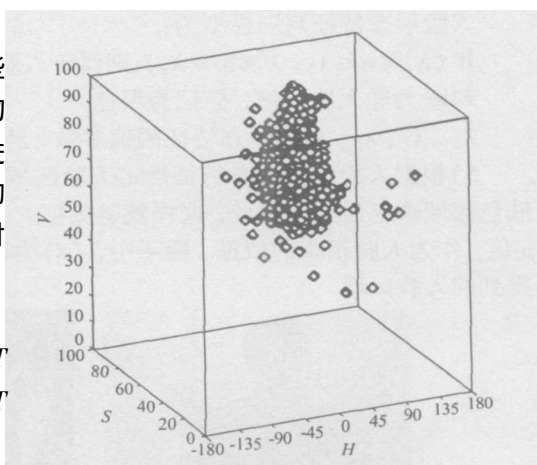


图 3 HSV 中肤色分布

Fig. 3 Skin color distribution in HSV

$$\theta_{RGB} = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} \Delta_{RGB} \tag{4}$$

根据自适应阈值法, 提取运动信息, 获得差值图 I_t :

$$I_t = \begin{cases} 0 & (\Delta_{RGB} < \theta_{RGB}) \\ 1 & (\text{其他}) \end{cases} \tag{5}$$

其中 $\Delta_{RGB} < \theta_{RGB}$ 为 R, G, B 3 个分量的值都小于其对应的值. 目前自适应阈值法进行运动检测的效果要好于采用固定阈值进行判别的结果, 它不仅适应性好, 而且抗噪性强.

3 人脸检测

人脸检测主要目的就是在当前图像中检测是否包含有人脸区域, 如果有就记录下此人脸区域的各种参数, 为下一步人脸跟踪做好准备. 其算法的主要思想为: 首先, 运用背景图像差分法提取运动区域; 接着在运动区域中进行肤色检测, 判断是否为肤色区域; 最后, 根据人脸的形态特征判断肤色区域是否为人脸. 具体步骤如下:

1) 运用差分图像提取运动区域, 把背景设为黑色, 运动区域保留原 RGB 值.

2) 根据 RGB 到 HSV 的转换公式, 将运动区域的 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间, 然后依据运动区域中像素的 HSV 值抽取肤色区域, 并将肤色区域标记为白色, 其余区域标记为黑色. 抽取肤色区域模型为:

If (H, S, V 满足式 (2)) 则属于肤色范围, 标记为白色.

Else 标记为黑色.

3) 肤色区域提取出来后, 有很多细小的区域, 可以根据噪声面积阈值参数将细小区域删除.

4) 排除非人脸形态特征的肤色区域. 可根据人脸的宽高比和充满率确定人脸形态特征区域. 人脸一般呈椭圆形, 其外接矩形的宽高比 (即椭圆的长、短轴之比) η 应在一定的范围内. 另外, 人脸区域的充满率 ρ 也应在一定的范围内. η 和 ρ 的定义如下:

$$\eta = \frac{w}{h}, \quad \rho = \frac{\text{area}}{w \times h}$$

其中: w 和 h 分别为外接矩形的宽和高; area 为肤色区域的大小.

人脸形态特征判别模型为:

If ($\lambda_1 \leq \eta \leq \lambda_2, \lambda_3 \leq \rho \leq \lambda_4$) 则属于人脸形态特征区域.

Else 为非人脸区域, 标记为黑色.

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 为形态特征阈值参数, 经多次实验, 取 $\lambda_1 = 0.4, \lambda_2 = 0.85, \lambda_3 = 0.65, \lambda_4 = 0.8$

5) 根据人脸位置分布特征确定人脸区域. 对检测出的多个人脸形态特征的肤色区域, 取最上方的肤色区域确定为人脸区域, 这样就避免把手区误判为人脸区域. 同时记录此区域的外接矩形、 η 值和 ρ 值, 作为人脸跟踪的依据. 图 4 中, (a) 为原图像, (b) 为提取到的肤色区域, (c) 为依据上面的算法得到的人脸区域.



图 4 人脸检测

Fig. 4 Face detecting

4 人脸跟踪

人脸跟踪的主要思想就是在当前图像中寻找满足人脸特征的肤色区域, 然后根据平滑度的值, 找出平滑度值最大的区域作为本次跟踪的结果. 因为相邻两帧的时间相隔非常短, 人脸区域 η 和 ρ 的值应该变化不大, 所以根据平滑度跟踪人脸区域具有较高的准确性. 平滑度的定义如式 (6):

$$\text{平滑度} = \theta_1 \min(\eta, \eta_1) \setminus \max(\eta, \eta_1) + \theta_2 \min(\rho, \rho_1) \setminus \max(\rho, \rho_1) \quad (6)$$

其中: η, ρ 为待检测区域的宽高比和填充率; $0 \leq \theta_1 \leq 1$; $0 \leq \theta_2 \leq 1$; $\theta_1 + \theta_2 = 1$; $0 \leq \text{平滑度} \leq 1$. 人脸跟踪算法的主要步骤如下:

1) 相邻两帧相减, 提取运动区域. 在判断运动区域时, 有可能出现在运动中的某些时刻, 人暂时处于静止或运动不是很明显的状态, 此时运动区域就无法提取. 由于人暂时处于静止或运动不是很明显的状态, 此时人脸的位置应该和上次找到的人脸位置基本重合. 可以根据上次找到的人脸位置的外接矩形放大一定的比例, 并在此放大的区域中进行肤色检测和人脸判断. 实验证明这种预测方法是有效的. 因此在每次检测出人脸时, 要保留下人脸的区域信息以备下次检测不到人脸时使用.

2) 当运动区域明显时, 在运动区域里提取肤色区域, 利用连通区域标记算法为各个连通的肤色区域作上不同的标记, 同时得到各个连通区域的边界值以及人脸的宽高比 η_1 和充满率 ρ_1 , 根据平滑度的值, 找出平滑值最大的区域作为本次跟踪的结果, 因为相临两帧图像的时间相隔很短, 所以可以认为人脸的宽高比和充满率变化不会很大. 同时用此区域的外接矩形、 η 和 ρ 的值更新历史记录.

5 结语

首先利用图像差分的方法检测出运动区域, 然后再在运动区域中利用人的肤色在颜色空间中的聚类特性, 在 HSV 颜色模型中进行肤色检测、人脸的检测和定位, 能很好的消除背景的影响, 同时也减小了肤色检测的区域范围, 具有耗时少, 运算量小等特点, 与单纯采用色彩法相比进一步减少了计算量, 使之更适用于视频的实时处理. 实验过程中, 采用了把摄像头直接接在 PC 机上, 对采集进来的视频进行实时处理, 能较准确和快速的检测出人脸, 检测跟踪实验结果如图 5(c) (图 5(a) 为原图像) 所示. 实验结果表明该算法具有较高的准确性和可靠性, 能够基本满足实时要求. 存在的问题是人背对摄像机时的情景, 此时由于人背部无可用的肤色特征, 因此只能结合使用其他方法, 这个问题也是基于肤色模型的人脸跟踪系统中普遍存在的问题, 有待于进一步研究.



图 5 人脸检测跟踪效果图

Fig 5 Face detecting and tracking results map

参考文献:

- [1] Oliver N, Pentland A, Berard F. Lips and face real time tracker with facial expression recognition [J]. Proc IEEE on CVPR, 1997: 123-129
- [2] Lacascia M, Isidoro J, Sclaroff S. Head tracking via robust registration in texture map images [J]. Proc IEEE on CVPR, 1998: 508-514
- [3] Lacascia M, Sclaroff S. Fast reliable head tracking under varying illumination [J]. Proc IEEE on CVPR, 1999: 604-610
- [4] Garcia C, Tziritas G. Face detection using quantized skin color regions merging and wavelet packet analysis [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 1991(3): 264-277.
- [5] Chai D, Ngan K N. Face segmentation using skin-color map in videophone applications [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(4): 551-564
- [6] 王 栓, 艾海舟, 何克忠. 基于差分图像的多运动目标的检测与跟踪 [J]. 中国图像图形学报, 1999, 4(6): 470-475
- [7] 毛顺兵, 程小平. 复杂背景彩色图像的人脸检测算法研究 [D]. 重庆: 西南师范大学, 2002

(接第 793 页)

参考文献:

- [1] Chen Y M, Zhou Z. Stable periodic solution of a discrete periodic Lotka-Volterra competition system [J]. J Math Anal Appl, 2003, 277(1): 358-366
- [2] 陈晓星. 离散型基于比率捕食者-食饵系统周期正解的稳定性 [J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2004, 32(4): 417-419
- [3] Chen X X. Positive periodic solutions of a class of discrete time system with delays and a feedback control [J]. Ann Differential Equations, 2005, 21(4): 541-551.
- [4] Cull P. Stability of discrete one-dimensional population models [J]. Bull Math Biol, 1988, 50: 67-75
- [5] Wang W D, Lu Z Y. Global stability of discrete models of Lotka-Volterra type [J]. Nonlinear Anal, 1999, 35(8): 1019-1030
- [6] Chen F D. On a periodic multi-species ecological model [J]. Appl Math Comput, 2005, 171(1): 492-510
- [7] Chen F D. On a nonlinear non-autonomous predator-prey model with diffusion and distributed delay [J]. J Comput Appl Math, 2005, 180(1): 33-49
- [8] Lakshmikantham V, Trigiante D. Theory of difference equations: numerical methods and applications [M]. New York: Academic Press, 1988
- [9] Agarwal R P. Difference equations and inequalities: theory, methods and applications [M]. New York: Marcel Dekker, 1992