

一种快速彩色图像中复杂背景下人脸检测方法

王延江^{1,2},袁保宗¹,唐晓芳¹

(1. 北方交通大学信息所,北京 100044;2. 石油大学(华东)信息与控制工程学院,山东东营 257061)

摘 要: 本文提出了一种快速的彩色图像中复杂背景下人脸检测方法. 该方法首先利用进化 Agent 计算对彩色图像中与人的肤色相似的像素进行聚类 and 区域分割. 然后利用小波分解对每一个候选区域进行人脸特征分析, 如所检测到的区域特征分布相似于某一预先定义的人脸模型, 则确认该区域代表人脸. 实验结果表明, 该方法不仅速度快、效率高, 而且正确检测率高.

关键词: 人脸检测; 彩色图像分割; 进化计算; Agent; 小波分解

中图分类号: TN391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 10-1566-04

A Fast Human Face Detection Method From Color Images Under Complex Background

WANG Yan-jiang^{1,2}, YUAN Bao-zong¹, TANG Xiao-fang¹

(1. Institute of Information Science, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. School of Information and Control Engineering, University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China)

Abstract: This paper proposes a fast approach for human face detection in color images under complex background. The approach first utilizes evolutionary agent computation to cluster the skin-like pixels and segment the possible face-like regions. After the face-like regions are located, wavelet decomposition is applied to each region to detect the possible facial features. Regions in which the wavelet features are distributed like a predefined human face model are recognized as human faces. Experimental results show that the proposed approach is fast and has a high detection rate.

Key words: face detection; color image segmentation; evolutionary computation; agent; wavelet decomposition

1 引言

人脸及面部特征的检测与定位是目前计算机视觉和人机交互研究领域的一个重要方向. 现有的人脸检测主要是针对灰度图像, 检测方法主要有模板匹配法^[1]、特征脸法^[2]及神经网络法^[3,4]. 从检测效果来看, 这些方法只适合检测正向人脸而且耗时较大. 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之一.

目前, 大多数采用颜色的人脸检测方法都是利用形状或纹理进行人脸确认的^[5-9]. 采用形状信息进行人脸确认^[5-7]虽然速度较快, 但误检率高; 采用纹理信息进行人脸确认^[8,9]虽然检测准确度提高, 但检测效率降低. 针对这种情况, 本文提出了一种新的快速的复杂背景下人脸检测方法. 该方法先利用进化 Agent 计算进行人脸候选区域的检测及分割^[10], 然后利用小波变换进行人脸特征分析及眼睛定位. 实验结果表明, 这种方法不仅速度快, 效率高, 而且可以检测不同背景下, 不同姿态及不同大小的人脸.

2 人脸皮肤颜色分布模型

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. 而图像中每个像素的亮度等于其 RGB 三个分量之和. 因此, 如将 RGB 参数归一化用于人脸检测则能减小颜色亮度变化的影响.

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于人的皮肤的分割研究, 如 CIE Lab^[7], CIE Luv^[9], 及 HSV^[5-6]等. 通过分析比较, 我们发现 HSV 颜色模型更加接近于人对颜色的感知.

因此, 本文将同时采用上述两种颜色模型作为皮肤颜色分类的标准. 通过对 50 幅不同情况下的彩色人脸图像进行统计分析, 我们分别得出了适应面较广的人的皮肤颜色在 HSV 颜色空间及归一化 RGB 颜色空间的分布范围^[10]:

$$0 \leq H \leq 50, 0.20 \leq S \leq 0.68, 0.35 \leq V \leq 1.0 \quad (1)$$

$$0.36 \leq r \leq 0.465, 0.28 \leq g \leq 0.363 \quad (2)$$

收稿日期: 2001-01-03; 修回日期: 2001-06-11

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (No. 69789301)

3 基于进化 Agent 计算的人脸区域检测与分割

3.1 进化 Agent

Agent 是人工智能研究领域的概念,它代表一个具有自主性和协作性的智能实体.本文所引用的进化 Agent 主要具有以下功能:(1)它可以自动感知图像环境(以下简称环境)的状态,获知自己在环境中的位置;(2)它可以根据所感知的信息,判断自己所处的位置是否属于问题的解空间,如果是,它将记录下该位置,并在此位置附近实施进化行为;(3)它具有有限的生命期,当它的生命超过规定的期限时,它将在环境中消失.因此一个进化 Agent 也可用一八元组来表示:

$$\text{Agent} = p, d, a, f, fml, \text{Diff}, \text{Rep}, \text{Die} \quad (3)$$

其中 p 代表它在环境中的位置, d 表示它在环境中当前的移动方向, a 代表其年龄, f 表示它的适应值,该值表示该 Agent 的优劣程度, fml 表示 Agent 的家族标志.以上这些参数表示 Agent 的内在状态,而 Diff 和 Rep 分别代表 Agent 的扩散和复制进化行为, Die 表示一个 Agent 象生物一样具有一定的生命期,它能够从环境中消失(死亡).

3.2 基于进化 Agent 计算的人脸区域检测与分割

要利用上述进化 Agent 计算模型进行人脸检测,首先要用该进化计算模型对人脸检测的过程进行描述.我们知道,人脸检测的主要目的是检查一副图像(本文主要讨论彩色图像)中是否有人脸存在,若有则确定其位置.而利用进化计算来确定是否有人脸存在,则可采用上面提出的皮肤颜色分布作为 Agent 进化的条件,多个 Agent 通过在二维图像环境的进化行为,最终检测出属于人脸的全部像素点.具体过程如下:

(1) 获取图像信息,为 Agent 建立环境模型.图像信息包括图像宽度、高度、图像显示位置以及每个像素的颜色值.

(2) 均匀产生一定数目的第一代 Agent,并将其加到一个主动 Agent 集合中.

(3) 产生 Agent 后,判断环境中主动 Agent 集合内的每个 Agent 所在的像素点是否满足式(1) - (2),如果满足,则将该点记录并令该 Agent 在其周围进行自我复制,如不满足,则该 Agent 进行随机或定向扩散,每扩散一次,该 Agent 的年龄将加一岁,若其年龄超过规定的范围,则该 Agent 将从主动 Agent 集中消失(死亡),而当环境中所有的主动 Agent 都死亡后,即表示图像内已无人脸像素可检测,进化计算结束,进化过程中所记录的像素集即为所求.

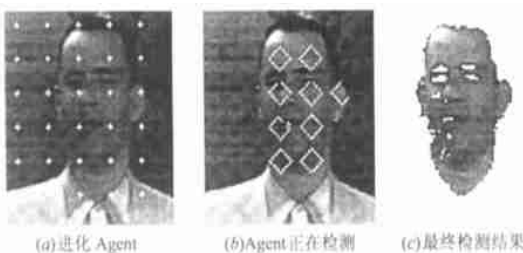


图 1 基于进化 Agent 计算的人脸检测

利用上述算法进行人脸区域检测的一个例子如图 1 和图 2 所示.其中,图 2(a)为一具有复杂背景的多人脸图像,图像

实际大小为 186 × 150;图 2(b)为区域分割结果,耗时仅为 44ms.作为比较,图 2(c)同时给出了逐点进行检测和区域分割结果,完成区域标记共需 185ms.可见,利用基于进化 Agent 计算的方法,分割速度要明显快于传统的分割方法.

4 人脸特征分析及眼睛检测

分割出人脸候选区域后,首先利用形状及大小等信息排除一些非人脸区域^[10],但其余区域是否代表人脸还需进一步确认.本文采用在人脸候选区域内检测人脸面部特征的方法来确认人脸,特别是检测人的眼睛.首先提出了一个简单的正面人脸模型,利用该模型及其各种变形可以很容易地定位出具有一定姿态变化的人眼.

4.1 人脸模型

一般地,一正面人脸可以简单地用六特征组合来表示,即双眉、双眼、鼻子及嘴唇.如图 3(a)所示.然而由于人脸的变形及颜色的畸变等原因,一些特征可能检测不到,为此我们将人脸分解成包含至少 2 个特征组合的模型,如图 3(b)、(c)、(d)所示,对于多于 4 个特征的情况,我们先判断前 4 个特征的分布,这些模型包括了这几种情况下的各种组合.当然,利用这些人脸模型,可能会将眉毛误判为眼睛,如图 3(b)中前三个模型,图 3(c)中的第三个模型及图 3(d)中的最后一个模型等,但本文的主要目的是检测人脸,对眼睛的定位是否准确将在后续工作中再做研究.



图 2 基于进化 Agent 计算的人脸区域分割

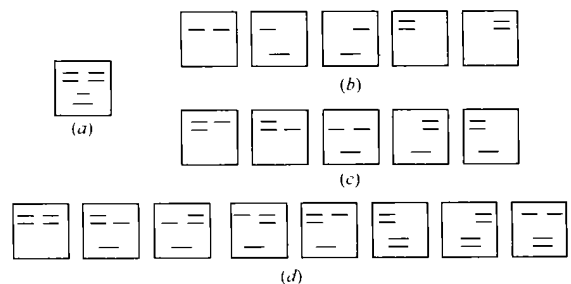


图 3 由不同特征组合构成的不同人脸模型

(a) 6 特征; (b) 2 特征; (c) 3 特征; (d) 4 特征

另外,为了检测非垂直姿态的人脸,允许该人脸模型左右变形.在人脸判别过程中,如果一个区域内的特征分布满足其中之一,则该区域被判别为脸,并根据其相应的分布将眼睛的大致位置定出来.如果一个区域没有这样的特征或只有一个特征则认为不是人脸.

4.2 基于小波分解的人脸特征分析

自 S. Mallat 提出多分辨分析(MRA)的方法后,小波分析在计算机视觉及图像处理领域的应用越来越广泛.由于小波变换能将一幅图像在不同方向上的细节分解出来,因此,我们

将利用小波的这种“显微”能力来检测人脸的特征分布。根据 MRA 理论,对一幅图像进行多分辨率分解相当于利用一个低通滤波器 h 和一个高通滤波器 g 在图像的两个方向上连续地进行分解。设给定图像 $f(x, y)$, 则第 j 级分解过程如图 4 所示:

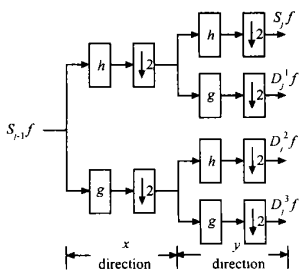


图 4 图像分解的 MRA 表示

具体地:

$$\begin{aligned} S_j f &= [h * [h * S_{j-1} f]_x \ 2]_y \ 2 \\ D_j^1 f &= [g * [h * S_{j-1} f]_x \ 2]_y \ 2 \\ D_j^2 f &= [h * [g * S_{j-1} f]_x \ 2]_y \ 2 \\ D_j^3 f &= [g * [g * S_{j-1} f]_x \ 2]_y \ 2 \end{aligned} \quad (4)$$

其中 h 为一低通滤波器, g 为对应的高通滤波器, $*$ 表示卷积, 2 表示隔点取样; $S_0 f = f(x, y)$ 表示原始图像, $S_j f$ 是原始图像在尺度 j 下的低频逼近, 而 $D_j^i f$ ($i=1, 2, 3$), 分别代表尺度 j 下水平、垂直和对角方向的高频细节。显然, 对人脸特征进行检测, 需利用垂直方向的高频细节, 即水平方向边缘, 该部分对应于分解后的图像的左下部分。

虽然小波变换具有较强的“显微”能力, 但要用它清晰地检测出前面提出的人脸模型中的特征, 需要选择一个性能比较好的小波。实验中发现采用一般的小波函数象三次样条小波及 Daubechies 小波特征提取效果并不理想。本文所采用的小波函数取自文献[8], 该小波具有很强的突出局部变化的能力, 对一些特殊情况下的人脸, 比如戴着眼镜, 也能很好地检测到人眼特征。对应于该小波函数的滤波器组如下:

$$\begin{aligned} H(z) &= 0.853 + 0.377(z + z^{-1}) - 0.111(z^2 + z^{-2}) \\ &\quad - 0.024(z^3 + z^{-3}) + 0.038(z^4 + z^{-4}) \end{aligned} \quad (5)$$

$$G(z) = -z^{-1} H(z^{-1}) \quad (6)$$

利用上述小波分解进行特征检测的一个实例如图 5 所示。图 5(a) 是原始图像, 图 5(b) 是经过一次小波分解后的结果。显然其左下部分包含了人脸特征的细节, 只要取适当的阈值即可将各特征检测出来, 如图 5(c) 所示。再经过去除孤立点及边缘点等措施, 直到最终剩下不到 7 条特征线, 如图 5(d) 所示, 显然, 很容易根据此分布定出人的眼睛, 结果如图 5(e) 所示。

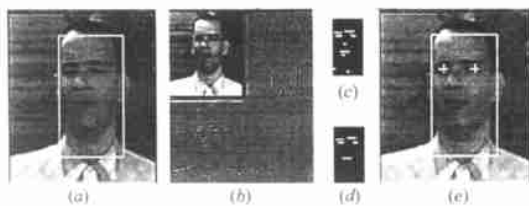


图 5 小波分解与眼睛定位示意图

5 实验结果及讨论

我们利用上述算法在一台 PC-450/Pentiumr 机上对 100 幅静止彩色图像共 206 幅人脸进行了测试。这些图像有的取自 VCD, 有的取自 Internet, 且具有不同的姿态、表情、背景及光照环境。另外, 在这些图像中, 图像的大小从 100×118 到 501×370 不等, 而人脸的大小从 16×12 到 140×180 不等。

总体测试性能见表 1, 部分人脸及眼睛检测结果如图 6 所示。

正确检测率 (%)	90.3
错误检测率 (%)	9.2
检测时间 (ms)	30 ~ 440

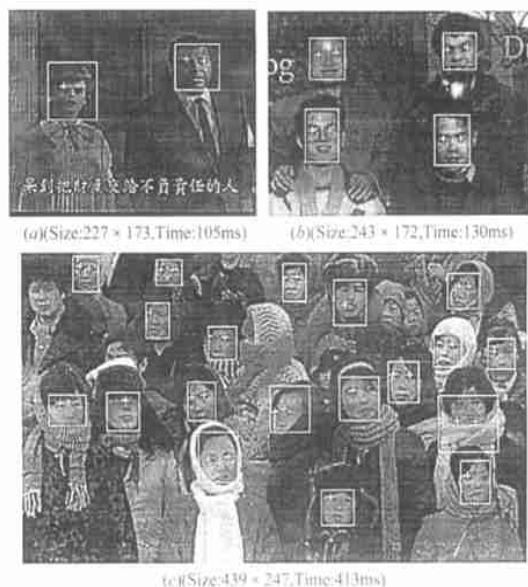


图 6 部分人脸检测结果

从表 1 及图 6 可以看出, 本文所提出的人脸检测方法具有下面几个特点: 首先, 具有较高的检测率, 对各种复杂条件下 206 幅人脸的正确检测率达到了 90.3%。另外, 该方法可以检测到带眼镜及不同姿态、不同大小的人脸。该方法还有一个特点是速度快, 对 439×247 大小具有 21 幅人脸的图像 (如图 6(c) 所示), 检测时间仅为 413ms, 而采用传统的区域分割方法对此图像进行人脸检测则需要 8.79s。因此, 该方法更适合于实时人脸检测及跟踪系统。

6 结论

本文提出了一种新的快速的彩色图像中复杂背景下人脸检测方法。该方法首先利用进化 Agent 计算对彩色图像中与人的肤色相似的像素进行聚类 and 区域分割。然后利用小波分解对每一个候选区域进行人脸特征分析, 并根据检测到的特征分布判断其是否为人脸。通过对 100 幅彩色图像中各种复杂情况下 206 幅人脸进行测试, 正确检测率达到了 90.3%, 平均检测时间仅为 235ms。实验结果充分表明了本文所提出的人脸检测方法的高效性。

参考文献:

- [1] R Brunelli ,T Poggio. Face recognition :features versus. templates [J]. IEEE Trans ,1993 ,PAMI-15(10) :1042 - 1052.
- [2] M Turk ,A Pentland. Eigenfaces for recognition [J]. Journal of Cognitive Neuroscience ,1991 ,3(1) :71 - 86.
- [3] H A Rowley ,S Baluja ,T Kanade. Neural network-based face detection [J]. IEEE Trans ,1998 ,PAMI-20(1) :23 - 38.
- [4] P Juell ,R Marsh. A Hierarchical neural network for human face detection [J]. Pattern Recognition ,1996 ,29(5) :781 - 787.
- [5] K Sobottka ,I Pitas. A novel method for automatic face segmentation ,facial feature extraction and tracking [J]. Signal processing :image communication ,1998 ,12(3) :263 - 281.
- [6] N Herodotou ,KN Plataniotis ,A N Venetsanopoulos. Automatic location and tracking of the facial region in color video sequences [J]. Signal processing :image communication ,1999 ,14(5) :359 - 388.
- [7] Haiyuan Wu ,Qian Chen ,M Yachida. Face detection from color images using a fuzzy pattern matching method [J]. IEEE Trans ,1999 ,PAMI-21(6) :557 - 563.
- [8] C Garcia ,G Tziritas. Face detection using quantized skin color regions merging and wavelet packet analysis [J]. IEEE Trans on Multimedia ,1999 ,1(3) :264 - 277.
- [9] J Cai ,A Goshtasby. Detecting human faces in color images [J]. Image and Vision Computing ,1999 ,18(1) :63 - 75.
- [10] Yanjiang Wang ,Baorong Yuan. Face detection from color images using an evolutionary approach [J]. Chinese Journal of Electronics ,2000 ,9(3) :270 - 273.

作者简介:



王延江 男,1966 年生于山东海阳,石油大学(华东)信息与控制工程学院副教授.2001 在北方交通大学信息所获博士学位,目前研究领域为多模态人机交互技术、模式识别及智能计算理论.

袁保宗 男,1932 年生于江苏吴江,北方交通大学信息所教授,名誉所长,博士生导师,目前,他的主要研究方向包括语音信号处理、图像处理、计算机视觉、计算机图形学、虚拟现实以及人机交互技术等.

唐晓芳 女,1956 年生于北京市,北方交通大学信息所工程师,IEEE 会员,主要研究方向为计算机视觉、计算机图形学、虚拟现实技术、数据可视化、信号处理等,在国内外学术刊物及会议发表论文二十余篇.