

基于小波模极大值的复杂背景人耳边缘检测

朱晟君 刘嘉敏 邱兆春 熊文浩 吴宇杰

(重庆大学光电技术与系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要 复杂背景下的图像边缘通常非常复杂。为了解决人耳图像边缘检测中区域精度要求和抗噪性的矛盾,提出了一种基于小波模极大值的人耳边缘提取方法。首先对图像进行小波分解,得到 3 种不同尺度下的小波模极大值图像;接着将图像分别转换为二值边缘图像;然后将这些图像进行叠加;最后利用肤色二值图排除肤色区域范围外的噪声点得到边缘图像。此肤色二值图是图像经过形态学处理,并且依据人侧脸的先验知识通过分析和筛选所得到的。该方法引入了多尺度小波模极大值图像叠加技术,对解决复杂背景下人耳内外边缘特征难以提取的问题有良好的效果。实验结果表明,该方法在复杂背景下是有效的。

关键词 图像处理;人耳检测;小波模极大值;复杂背景;边缘检测

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/CJL200936s2.0158

Ear Edge Detection in Complex Background Based on Wavelet Modulus Maxima

Zhu Shengjun Liu Jiamin Qiu Zhaochun Xiong Wenhao Wu Yujie

(Key Laboratory of Opto-Electronic Technology and System, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract An image edge is usually complicated in complex background. An ear-edge-extraction method based on wavelet modulus maxima is investigated in this paper in order to solve the contradiction between the requirement of regional precision and the property of anti-noise in the process of edge-detection. Firstly, the images of wavelet modulus maxima at three different scales are obtained after image wavelet decomposition. Secondly, these images are separately transformed to binary edge images which are superposed then. Thirdly, noisy points outside the skin color region are excluded by using the binary image of skin color and then the edge image is obtained. After morphological processing on the original image, the binary image of skin color can be obtained with prior knowledge of side face. In this method, the technology of image superposition based on wavelet modulus maxima of multi-scale is exploited to solve the problem that the ear features of internal and external edges are hard to be extracted. Experimental results show that this method is effective in complex background.

Key words image processing; ear detection; wavelet modulus maxima; complex background; edge detection

1 引 言

人耳识别是指利用人的耳廓进行身份鉴别的一种生物特征识别技术^[1]。与其他生物特征识别相比,它具有很多优点,因此越来越受到研究者的重视。边缘是图像中非常重要的信息,是图像分割、模式识别的重要基础。边缘检测直接影响着人耳的定

位及其特征的提取。

复杂背景指待提取的人耳图像的背景存在肤色、其他人耳、物品等的干扰,而不单单是一个人侧脸图像。与简单背景相比,它存在着多人耳和多色彩的干扰。

目前常用边缘检测算法引入了各种形式的微分

基金项目: 重庆市自然科学基金(CSTC,2008BB0035)资助课题。

作者简介: 朱晟君(1986—),男,硕士研究生,主要从事图像处理和模式识别方面的研究。

E-mail: zhusj_ok@126.com

导师简介: 刘嘉敏(1973—),男,博士,副教授,主要从事信息获取与处理技术、图像处理技术和触觉传感技术等方面的研究。E-mail: liujm@cqu.edu.cn

运算,从而对噪声比较敏感,常用的如 Roberts 算子, Sobel 算子, Prewitt 算子, Laplacian 算子等,在处理含有噪声的图像时,易造成检测边缘的模糊,效果不太理想。Marr-Hildreth 提出的边缘检测方法(LoG 算子)采取先用高斯空间滤波器对原始图像做最佳平滑,然后用 Laplacian 算子对滤波后的图像提取零交叉点,一定程度上减小了噪声对边缘检测的影响^[2]。而 Canny^[3]则首先提出了最优边缘检测算子,采用与高斯(Gaussian)函数的一阶导数相近的滤波函数,性能优于 LoG 算子,但定位不够精确,且计算量较大。在复杂背景下进行人耳检测时,由于图像背景的不可预测性,边缘的复杂程度也大大增加。而人耳区域相对较小,若强调边缘精度,则噪声产生的伪边缘会产生不合理边界;若注重抗噪性,则会造成边缘漏检和轮廓线位置的偏离。针对



图1 人耳检测流程图

Fig.1 Ear detection flowchart

3 小波模极大值

小波模极大值是小波分解后产生的参数,它代表的是图像中一些具有重要意义的点。一幅图像在不同尺度下提取小波模极大值,就得到了不同尺度下的边界图像。S. Mallat 在 1992 年将 Lipschitz 指数与小波变换后系数模的局部极大值联系起来,通过小波变换后局部极大值在不同尺度上的衰减速度来衡量信号的局部奇异性^[4]。S. Mallat 的“algorithm λ trous”算法^[5]是通过滤波器实现一维非抽样二进小波变换。将其扩展到二维,对图像进行按行按列卷积运算检测小波变换模极大值,实现多尺度边缘检测^[6]。基于小波变换的信号奇异检测可应用于故障诊断、图像的多尺度边缘提取、信号恢复和去噪等领域。

模极大值边缘检测法是一种经典的小波边缘检测方法^[7]。小波分析在时域和频域同时具有良好的局部化性质,而且对于高频成分采用逐步精细的时域或频域取样步长,从而可以聚焦到对象的任意细节。多尺度的概念融入小波理论后,对某一类小波,图像边缘对应于小波变换的局部极大值。采用小波变换模极大值的算法进行边缘检测,能得到比较满意的效果^[8]。S. Mallat 已经证明:1)小波变换模极大值具有平移不变性;2)如果信号本身的傅里叶变

换是带限的且小波函数是紧支撑的,则小波变换模极大值的表示是完备的。

2 复杂背景下的人耳检测

复杂背景下的人耳检测系统包括 4 个模块,即肤色分割、候选区域优化、图像边缘检测和耳检测,如图 1 所示。其中图像边缘检测使用小波模极大值方法进行处理。

换是带限的且小波函数是紧支撑的,则小波变换模极大值的表示是完备的。

4 图像边缘检测过程

为了很好地描述人耳的内外边缘,在 Matlab 实验环境下,采用上述二维 λ trous 算法进行图像的小波模极大值检测。具体操作是:利用低通滤波器 h_0 作为尺度函数与图像 P 进行卷积可以得到图像 P 的近似图像序列 $p_1 \cdots p_N$ 。其中作为卷积核的 h_0 可由三次 B 样条函数得到,如一维尺度的 h_0 为: $h_0 = (1/16) \times [1, 4, 6, 4, 1]$ 。分解的细节信息 dw_j 可通过相邻近似图像的差值计算得到,即 $dw_j = p_{j-1} - p_j$,其中 $j = 1, \cdots, N, p_0 = P$ 。从上述过程可知,其重构公式为

$$P_r = p_N + \sum_{j=1}^N dw_j$$

式中 P_r 为重构图像, N 为分解层数^[9]。

实验步骤如下:

1) 对图像进行 3 级分解,得到 3 种尺度下的小波模极大值图像。为了避免由于肤色分割时遮挡等因素造成部分人耳边缘的漏检,选取候选区域的最小外接矩形作为目标区域进行处理。同时,为了保证能够获得很好的人耳轮廓和精细边缘,系统在 3

种不同尺度下对目标区域进行了小波分解。以图 2 所示的肤色区域最小外接矩形为例,在 3 种不同尺度下的分解结果如图 3 所示。



图 2 肤色区域最小外接矩形

Fig. 2 Minimum exterior rectangle of skin region

2) 检测出在小波变换域中模是局部极大值且大于预定阈值的点,转换为多尺度的二值边缘图像。由于采集到的图像尺度较大,图 3 中原尺度图像(a)的边缘很精细,但噪声干扰很多,所以在后续处理中不予考虑。对图 3 中尺度(b),(c),(d)处理后得到的边缘二值图像如图 4(a)~(c)所示。



图 3 不同尺度下的小波模极大值图像。(a)原尺度;(b)1/4 尺度;(c)1/16 尺度;(d)1/64 尺度

Fig. 3 Wavelet modulus maxima in different scales. (a) original scale; (b)1/4 scale; (c)1/16 scale; (d)1/64 scale



图 4 不同尺度下的边缘二值图像

Fig. 4 Binary edge images in different scales

3) 对多尺度下的边缘二值图像进行叠加和图像重构。此时人耳的内外部边缘都被保留而一些无意义的噪声点被消除,图 4 经过处理后得到的结果如图 5 所示。



图 5 叠加后的边缘二值图像

Fig. 5 Binary edge image after superposition

4) 利用肤色二值图排除肤色区域范围外的噪声点,如图 6 所示。



图 6 排除干扰的边缘二值图像

Fig. 6 Binary edge image without interference

在边缘检测前,进行了肤色检测和区域筛选得到肤色二值图。肤色检测是指选择 YCbCr 肤色表示空间,针对静态彩色图像建立肤色模型,转化为二值图像,然后采用自适应阈值分割的肤色区域定位算法,完成区域分割。肤色区域筛选是首先采用形态学操作消除图像中的小孔洞或孤立像素结构,然

后分析已有的肤色区域特征,利用图像的矩特征和几何特征如区域面积、长宽比、侧脸肤色在最小外接矩形框中的面积占有率等进行候选区域优化,对可能含人耳的候选区域进行筛选,得到候选的肤色区域的二值图像。

5 人耳区域边缘检测

采用以上所述方法对 120 幅静态含人耳图像样本进行边缘检测,统计其检测结果,同时对这些样本使用 LoG 算法进行检测,与本文算法的检测效果进

表 1 人耳检测结果统计分析

Table 1 Statistical analysis of ear detection result

	Number of pictures	Ear number	Detection number		Detection rate	False reject rate		Detection rate / %
			Undetected number	Misjudgmen number		False acceptance rate / %	False rejection rate / %	
LoG algorithm	120	165	151	7	14	4.24	8.48	91.5
Proposed algorithm	120	165	162	4	3	2.42	1.82	98.2

由表 1 可知,本文所采用算法对 120 幅复杂背景的人耳图像有较好的检测效果,检测率达到 98.2%,远远优于 LoG 算法的检测率。图 7 所示为部分样本图像的边缘检测结果。可以发现,无论侧脸肤色区域在图像中任何地方出现,图像边缘都只在正面人耳处形成密集区域,在二值图像中形成一个亮区域(边缘用白色,即亮色表示)。

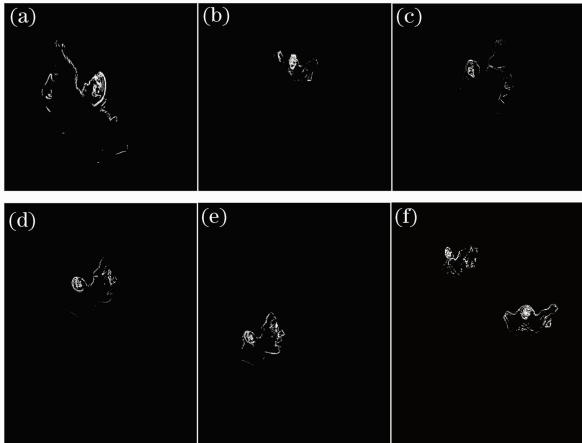


图 7 边缘检测结果

Fig. 7 Results of edge detection

对于复杂背景下人耳图像漏检和误判的原因,分析如下:

1) 边缘检测前肤色分割和区域优化过程中造成的漏检。由于肤色分割是进行人耳检测的首要前提,如果肤色分割时造成含人耳区域的漏检,则在边缘检测的处理中将无法弥补;对于多人耳图像,某些

行比较,如表 1 所示。

其中样本结果的判断方法为:本文的检测方法是针对一个事先建立的人耳库,通过将待检测人耳与库中所保存的不同人的耳特征进行比对,以确定待检测人耳是库中哪个人的,如果查找到,返回该人的个人信息;如果不是库中任一个,就返回报告。如果正确返回数据,即为检测正确;如果不是库中人所有,而返回某个人的信息,或者是库中某人的耳,而系统判断的是另外一个人,则被定义为误判;如果是库中人所有,而返回没有查找到,则定义为漏检。

人耳可能被其他物体部分遮挡,造成肤色区域分割时被排除掉,从而形成漏检。

2) 靠近图像边界的肤色可能在多尺度小波分解时形成伪亮区,从而造成误检,如图 8 所示。



图 8 误检结果。(a)原始图像;(b)边缘检测图

Fig. 8 False detection. (a)original image;(b) image of edge detection

6 结 论

针对复杂背景下人耳检测的具体特点和要求,提出使用小波多尺度的边缘检测技术进行检测,将不同尺度下的边缘图像叠加起来,在尽可能减少干扰的同时很好地描述了人耳丰富的内外边缘。实验结果表明,该方法准确有效,得到的人耳边缘图像中只有侧脸下的人耳区域形成亮的边缘区,可以作为人耳特征识别后续分析的依据,有望为人耳识别系统的发展提供有益的参考。

参 考 文 献

1 Zhang Haijun, Mu Zhichun, Wei Ke. Progress and status of ear recognition research [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2004, 40(33): 5~7

- 张海军, 穆志纯, 危 克. 人耳识别技术研究进展综述[J]. 计算机工程与应用, 2004, **40**(33): 5~7
- 2 Song Guoxiang, Jiang Donghuan, Sun Xiaoli. Edge detection in wavelet-based scale space [J]. *Application Research of Computers*, 2007, **24**(3): 97~99
宋国乡, 姜东焕, 孙晓丽. 小波尺度空间中的边缘检测算法[J]. 计算机应用研究, 2007, **24**(3): 97~99
- 3 J. Canny. A computational approach to edge detection[J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 1986, **8**(6): 679~698
- 4 Wang Guo'en, Li Jing, Li Chunsheng. Research on the application of wavelet transform in terms of de-noising of signal [J]. *Ship Electronic Engineering*, 2008, **28**(11): 80~82
王国恩, 李 静, 厉春生. 小波变换在信号去噪方面的应用研究[J]. 舰船电子工程, 2008, **28**(11): 80~82
- 5 S. Mallat. *A Wavelet Tour of Signal Processing* [M]. Yang Lihua Transl. Beijing: China Machine Press, 2003
S. Mallat. 信号处理的小波引导[M]. 杨立华译. 北京: 机械工业出版社, 2002
- 6 Wang Faniu, Liang Dong, Tang Jun *et al.*. Multiscale edge detection based on wavelet modulus maxima [J]. *Chinese J. Scientific Instrument*, 2006, **27**(6): 2147~2149
王发牛, 梁 栋, 唐 俊等. 小波变换模极大值多尺度边缘检测[J]. 仪器仪表学报, 2006, **27**(6): 2147~2149
- 7 Li Yueqin, Li Ping, Yan Xiaopeng *et al.*. Wavelet transform modulus maximum denoising method for radio fuze signal processing[J]. *Acta Armamentarii*, 2008, **29**(10): 1172~1176
李月琴, 栗 苹, 闫晓鹏等. 小波变换模极大去噪法在无线电引信信号处理中的应用[J]. 兵工学报, 2008, **29**(10): 1172~1176
- 8 Lü Sihua, Shi Ping, Wang Huiming. The application of wavelet modulus maximum algorithm in image edge detection [J]. *J. Beijing Broadcasting Institute*, 2005, **12**(1): 54~58
吕四化, 史 萍, 王惠明. 小波变换模极大值法在图像边缘检测中的应用[J]. 北京广播学院学报, 2005, **12**(1): 54~58
- 9 Wang Zhijun, Ziou Djemel. A comparative analysis of image fusion methods [J]. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 2005, **43**(6): 1391~1402