

## 人脸图像边缘检测的方法研究和应用

黄玉程, 胡国清, 吴雄英, 刘文艳

(厦门大学机电工程系, 厦门 361005)

**摘要:** 如何确定人脸特征并对这些特征进行有效的提取是非常关键而且复杂的。人脸边缘和轮廓是人脸非常重要的特征。该文研究了边缘检测的原理和各种算法, 通过试验验证各种检测方法在人脸图像中对边缘的检测效果, 讨论选用在不同阈值下检测的边缘, 以及影响检测效果的因素。最后通过实例研究了人脸边缘检测在人脸检测和识别中的具体应用。

**关键词:** 边缘检测; 人脸检测; 人脸识别

## Human Face Image Edge Detection Methods and Application

HUANG Yucheng, HU Guoqing, WU Xiongying, LIU Wenyan

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005)

**【Abstract】** How to define and extract the feature of human face is a key and complicated problem. The edge and contour of human face is one of important feature. This paper studies the theory of edge detection and different kinds of arithmetical methods. The experiment results are used to confirm the different methods which are employed to test the edge detection results of the human face image. It discusses the consequence of detection when the threshold is varying and the possible factors, which makes the different results. Finally, it studies the application of the edge detection in human face detection and recognition.

**【Key words】** Edge detection; Human face detection; Human face recognition

人脸边缘是人脸非常重要的一个特征<sup>[2,3]</sup>。对人脸边缘的检测, 可以应用于人脸轮廓的提取, 人脸区域的分割。

所谓图像的边缘<sup>[5]</sup>, 就是指图像局部区域亮度变化最显著的部分, 该区域的灰度剖面一般可看作是一个阶跃, 即从一个灰度值很小的缓冲区急剧变化到另外一个灰度相差较大的灰度值。

## 1 边缘检测的基本原理

图像灰度函数为  $z = f(x, y)$ ,  $x$  和  $y$  分别是像素坐标。如果在  $(x, y)$  处有边缘, 则利用  $f(x, y)$  在  $x$  和  $y$  方向上的变化率可以算出其变化最快的方向, 即梯度方向。边缘的方向垂直于这个梯度方向<sup>[4]</sup>。图像灰度函数方向导数为

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x} \cos \theta + \frac{\partial f}{\partial y} \sin \theta \quad (1)$$

梯度幅度为

$$|\nabla f(x, y)| = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

相位为

$$\theta = \arctan \left[ \frac{\frac{\partial f}{\partial y}}{\frac{\partial f}{\partial x}} \right] \quad (3)$$

数字图像是离散的, 可用一阶差分来代替图像函数的偏导数

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1, y) - f(x, y) \quad (4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = f(x, y+1) - f(x, y) \quad (5)$$

采用一阶微分的优点是: 算法简单, 速度快。但一阶微分是一种矢量, 不但有大小还有方向, 与标量相比较, 它的数据存储量大。另外在具有等斜率的宽区域上, 有可能将整个区域都作为边缘检测出来。

边缘检测的基本算法<sup>[7]</sup>有很多: 梯度算子, 方向算子, 拉普拉斯算子和 Canny 算子等。有属于梯度算子的 Roberts 算子、Sobel 算子和 Prewitt 算子、高斯偏导滤波器(LOG)以及 Canny 边缘检测器等。

## 1.1 Roberts 算子

Roberts 提出的算子是在  $2 \times 2$  的邻域上计算对角导数, 图像上的点  $(x, y)$  的梯度是用方向差分的均方值来近似, 即

$$g(x, y) \approx R(x, y) = \sqrt{[f(x, y) - f(x+1, y+1)]^2 + [f(x, y+1) - f(x+1, y)]^2} \quad (6)$$

也可以用 Rosenfeld 和 Kak 提出 Roberts 最大算子来近似, 如下式:

$$g(x, y) \approx R(x, y) = \max\{|f(x, y) - f(x+1, y+1)|, |f(x, y+1) - f(x+1, y)|\} \quad (7)$$

在实际应用中, 用 Roberts 绝对值来近似

$$g(x, y) \approx R(x, y) = |f(x, y) - f(x+1, y+1)| + |f(x, y+1) - f(x+1, y)| \quad (8)$$

如果  $R(x, y) > T$ ,  $T$  是根据试验所选取的阈值, 则  $(x, y)$  点为阶跃边缘点。

## 1.2 Sobel 算子

Sobel 提出了将方向差分和局部平均相结合的方法, 即 Sobel 算子。该算子以  $f(x, y)$  为中心的  $3 \times 3$  的邻域上计算  $x$  和  $y$  方向的偏导数<sup>[1]</sup>:  $x$  方向为  $S_x$ ,  $y$  方向为  $S_y$ , 用模板表示如表 1。左边是  $x$  方向的模板, 右边是  $y$  方向的模板。

$$S_x = \begin{Bmatrix} f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1) \\ -f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1) \end{Bmatrix} \quad (9)$$

**基金项目:** 福建省自然科学基金资助项目(A0310005); 国家留学回国人员基金资助项目(K13003)

**作者简介:** 黄玉程(1981—), 男, 硕士生, 主研方向: 人脸识别, 图像处理, 模式识别; 胡国清, 博士、教授; 吴雄英, 硕士生; 刘文艳, 讲师

**收稿日期:** 2005-10-11 **E-mail:** yuchenghuang@163.com

$$S_y = \{f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1) - \{f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1)\}\} \quad (10)$$

表 1 方向差分和局部平均相结合方法的模板

-1	0	1	-1	0	1
2	0	2	2	0	2
-1	0	1	-1	0	1

则梯度大小可以近似为

$$g(x, y) \approx S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \text{ 或}$$

$$g(x, y) \approx S = |S_x| + |S_y|$$

如果  $S > T$ , 则  $(x, y)$  点为阶跃形边缘点。

### 1.3 Prewitt 算子

Prewitt 提出了类似的计算偏微分估计值的方法:  $x$  方向为  $P_x$ ,  $y$  方向为  $P_y$ 。模板表示见表 2, 左边是  $x$  方向的模板, 右边是  $y$  方向的模板。

$$P_x = \{f(x+1, y-1) + f(x+1, y) + f(x+1, y+1) - \{f(x-1, y-1) + f(x-1, y) + f(x-1, y+1)\}\} \quad (11)$$

$$P_y = \{f(x-1, y+1) + f(x, y+1) + f(x+1, y+1) - \{f(x-1, y-1) + f(x, y-1) + f(x+1, y-1)\}\} \quad (12)$$

表 2 计算偏微分估计值方法的模板

-1	-1	-1	-1	0	1
0	0	0	-1	0	1
1	1	1	-1	0	1

梯度大小为

$$g(x, y) \approx P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \text{ 或}$$

$$g(x, y) \approx P = |P_x| + |P_y|$$

如果  $P > T$ , 则  $(x, y)$  点为阶跃形边缘点。

### 1.4 LOG(Laplacian of Gaussian)算法

拉普拉斯(laplacian)算子应用二阶微分运算算子提取边缘如下:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (13)$$

其离散形式定义为

$$\nabla^2 f(x, y) = L(x, y) = \{[f(x+1, y) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x-1, y)] + [f(x, y+1) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x, y-1)]\} \quad (14)$$

$$L(x, y) = -f(x, y) - f(x-1, y) - f(x, y+1) - f(x, y-1) + 4f(x, y) \quad (15)$$

模板表示见表 3。

表 3 二阶微分模板

1	2	1
-2	4	-2
1	-2	1

拉普拉斯算子是线性, 各向同性和位移不变的, 但不能提供边界方向信息。拉普拉斯对噪声比较敏感, 很少直接用于检测边缘, 主要用于抑制边缘像素, 确定该像素是暗区还是明域。

### 1.5 Canny 算子

用一个准高斯函数作平滑运算  $fs=f(x,y)*G(x,y)$ , 导数的最大值由带方向的一阶微分算子定位。平滑后  $fs(x,y)$  的梯度可以使用  $2*2$  一阶有限差分近似 Canny 最显著的一个特征是它设置高低两个阈值, 梯度值落在这两个阈值之间的都认为是边缘点。

## 2 试验结果分析

图 1 (a) 为原始图像, 图 1 (b) 是 Roberts 算子边缘检测图像, 图 1 (c) 是 sobel 算子边缘检测图像, 图 1 (d) 是 Prewitt 算子边缘检测图像, 图 1 (e) 是 LOG 算法边缘检测图像, 图 1 (f)

是 Canny 算子边缘检测图像。

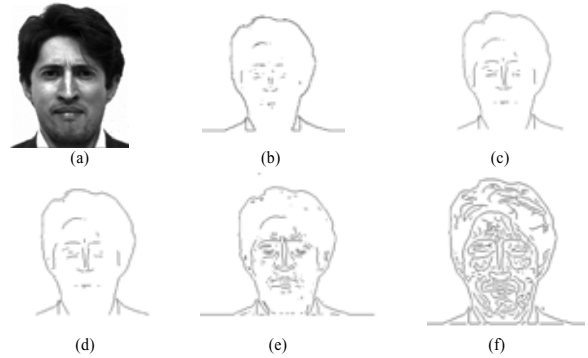


图 1 不同算法对人脸的图像进行边缘检测

通过图 1, 采用不同算法对含有人脸的图像进行边缘检测, 可以看出各种算法虽有差异, 但都能检测出人脸的大致轮廓, 其中 Canny 算子和 log 滤波算法效果最好。在人脸检测系统中, 可以根据人脸边缘检测所获得的这一轮廓特征确定人脸区域, 并通过确定这一特征所在的区域, 对人脸进行粗略定位。

图 2 中  $th$  是选取不同的阈值, 对各个算法进行检测, 对同一算法, 选取不同的阈值所获得得轮廓边缘效果有明显的区别, 可以看出阈值的选取非常关键, 由于受光照和物体表面形状, 以及噪声的影响, 阈值的选取是边缘检测中的一个难题。可以通过经验, 对图像进行预处理和选取不同的阈值后, 进行比较可获取好的检测效果。

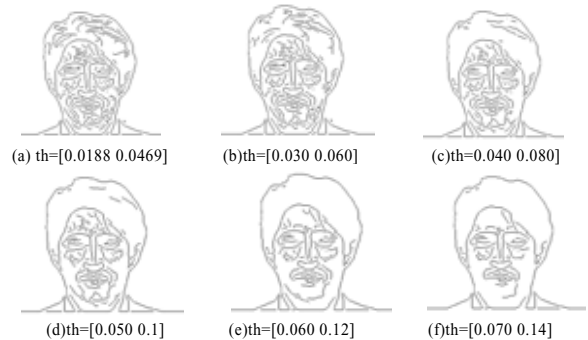


图 2 采用不同阈值的 Canny 边缘检测

## 3 边缘检测的应用

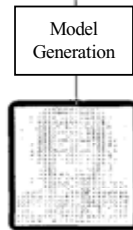
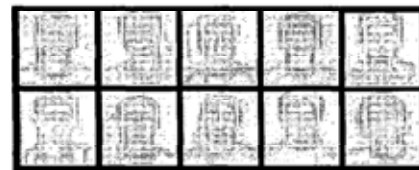


图 3 模板的建立

在人脸识别和图像编码中自动的人脸定位和人脸头肩宽区域的获取非常重要。在光线变化的情况下, 应保持算法的

(下转第 224 页)

图3中显示了从fandisk网格(6 475个顶点)和bunny网格(35 947个顶点)简化得到的结果,简化后分别有3 246, 17 971个顶点。简化后网格中仍然保持了良好的相似性,而结点数却大大减少了。

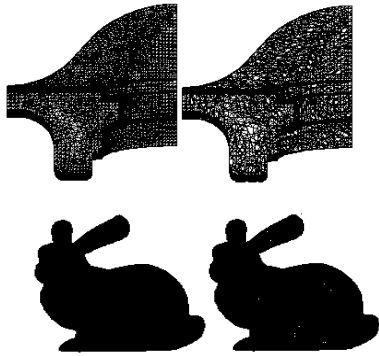


图3 对Fandisk和bunny模型进行简化的结果

表1中比较了由Metro工具<sup>[9]</sup>计算得到的均方差,它是对参考模型的第1次简化结果进行计算的。对于每个网格,尽量改变小波的大小。对小兔子模型的所有相似网格都给出了构造时间,这是在赛扬2.1GHz上运行的。最后两行显示了累积的平均错误和使用本文算法所减少的误差。这些数字表明了使用抬举方案(0-环小波支持)可以减少24.3%的错误而使用更多小波支持的抬举方案无法明显改善结果(2-环小波支持可以减少24.3%),然而它却会大大降低算法的速度(37.2s比13.5s)。因此可以得出结论,最有效的方法是使用0-环小波的抬举方案,它是对不规则网格的一个快速而有效的多分辨率分析。

表1 网格第一次简化结果的均方差

小波支持	无抬举方案	0-环	2-环
Fandisk	0.133 7	0.099 2	0.099 6
Bunny(时间按s计)	0.030 9 (10.3)	0.025 3 (13.5)	0.024 9 (37.2)
平均	0.082 3	0.062 3	0.062 3
改善	0	24.3%	24.3%

## 5 结论

在参考文献[6]中提出了对任意网格进行多分辨率分析

(上接第221页)

有效性和鲁棒性。Bernhard Fröba和Christian Küblbeck<sup>[6]</sup>提出了一种新颖的方法,从灰度图像,分割人脸头肩图像。分割是根据OTC(Oriented Template Correlation)。这种匹配方法仅仅依赖于边缘信息,特别是边缘的方向。如图3所示。

通过联合应用边缘模板和局部最优距离计算来定位人脸正面图像。这种混合的对人脸的处理方法取得了较好的效果,在含有复杂背景的1114幅图像库中能达到95%的识别率。

## 4 结论

人脸边缘是人脸图像的一个重要特征,应用边缘信息对人脸进行检测是一种有效的方法。但由于光照条件,场景的变化以及图像噪声给边缘检测的效果造成不良的影响,因此新的更有效的边缘检测方法如何有效地将边缘信息应用于人脸检测和识别将作进一步的研究。

### 参考文献

1 陈锦书,付评,阎肃.一种基于知识的头部图像提取方法[J].

的一个改进方案,它必须对原始网格进行重新采样,而本文算法却可以直接应用在原始网格上。对于不规则多分辨率这个相反的问题,本文提出了一个基于网格连接性的有效解决方法。这个方法有许多潜在的应用,比如网格压缩,渐进传输,对三维图象的快速分析,对体积抽取和分割的加速,以及多分辨率网格处理算法。实验表明,本文算法简便、快速、有效。对于文献[10]中提出的基于网格的几何性进行优化,正是本文将进一步研究的方向。

### 参考文献

- Rossignac J. Edgebreaker: Connectivity Compression for Triangle Meshes[J]. IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, 1999, 5(1): 47-61.
- Alliez P, Desbrun M. Valence-driven Connectivity Encoding for 3D Meshes[C]. Proc. of Eurographics, 2001: 480-489.
- Alliez P, Desbrun. Progressive Encoding for Lossless Transmission of Triangular Meshes [C]. Proc. of ACM Siggraph, 2001: 198-205.
- Gandoin P M, Devillers O. Progressive Lossless Compression of Arbitrary Simplicial Complexes[J]. ACM Trans. on Graphics, 2002, 21(3): 372-379.
- Eck M, DeRose T, Duchamp T, et al. Multiresolution Analysis of Arbitrary Meshes[C]. Proc. of ACM Siggraph Conf., 1995: 173-182.
- Bonneau G P. Multiresolution Analysis on Irregular Surface Meshes[J]. IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, 1998, 4(4): 365-378.
- Sweldens W. The Lifting Scheme: A Custom-design Construction of Biorthogonal Wavelets[J]. Applied and Computational Harmonic Analysis, 1996, 3(2): 186-200.
- Taubin G. Detecting and Reconstructing Subdivision Connectivity [J]. The Visual Computer, 2001, 18(5/6): 357-367.
- Cignoni P, Rochini C, Scopigno R. Metro: Measuring Error on Simplified Surfaces[J]. Computer Graphics Forum, 1998, 17(2): 167-174.
- Valette S, Prost R. A Wavelet-based Progressive Compression Scheme for Triangle Meshes: Wavemesh[J]. IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, 2004, 10(2): 123-129.

计算机工程与应用, 2003, 39(4): 105-107.

- 王良民,张建明,詹永照等.人脸检测研究现状和发展[J]. 江苏大学学报, 2003, 24(3): 75-80.
- 梁路宏,艾海舟,徐光祐等.人脸检测研究综述[J]. 计算机学报, 2002, 25(5): 1-10.
- Larré A, Montseny E. A Step Edge Detector Algorithm Based on Symbolic Analysis[C]. Proc. of the 12<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition, Jerusalem, Israel, 1994-10, 1: 6-10.
- 郎锐.数字图像处理学 Visual C++实践[M].北京:希望电子出版社, 2003-01: 233-234.
- Fröba B, Küblbeck C. Orientation Template Matching for Face Localization in Complex Visual Scenes[C]. Proc. of International Conference on Image Processing, 2000: 251-254.
- 马艳,张治辉.几种边缘检测算子的比较[J]. 工矿自动化, 2004, (1): 54-56.